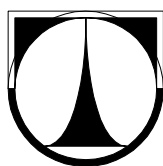


TECHNICKÁ UNIVERZITA v LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2011

Jiří Vinš

TECHNICKÁ UNIVERZITA v LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Návrh průtokoměrné linky pro testování bytových a průmyslových průtokoměrů

Design of the flow bench for flat and industry flow meters verification

Bakalářská práce

Autor: **Jiří Vinš**

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Slavík

Konzultant:

V Liberci 20. 5. 2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří VINŠ
Osobní číslo: M08000079
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy
Název tématu: Návrh průtokoměrné linky pro testování bytových
a průmyslových průtokoměrů
Zadávající katedra: Ústav řízení systémů a spolehlivosti

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte metody měření a kalibrace průtoků
2. Navrhněte průtokoměrnou linku včetně mechaniky a elektronické řídicí jednotky
3. Realizujte elektronickou řídicí jednotku průtokoměrné linky


Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


1. Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT Praha 1999
2. Ďaďo S., Bejček L., Platil A.: Měření průtoku a výšky hladiny, BEN - technická literatura, Praha 2005, 1.vydání, ISBN80-7300-156-X
3. URL: <http://www.justur.sk/>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Slavík
Ústav řízení systémů a spolehlivosti

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2010
Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2011


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 15. října 2010

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 20. 5. 2011

Podpis:

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubomíru Slavíkovi za ochotu, trpělivost a rady, které mi byly přínosem nejen pro bakalářskou práci.

Rád bych také poděkoval kolektivu zaměstnanců firem EESA a ENBRA, kteří se s ochotou podělili o důležité informace a materiály z praxe.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem průtokoměrné linky pro testování průtokoměrů. Tato linka by měla sloužit pro výzkumné a výukové úkoly při zkoumání metod měření průtoku.

V úvodních kapitolách je rozebrána teorie měření průtoku, způsoby kalibrace průtoku a komentovány hlavní vlivy působící na měření. Z teoretických předpokladů pak vychází i rozbor požadavků na konkrétní průtokoměrnou linku. V praktické části je popsána technická dokumentace pro výrobu linky včetně mechanických částí a elektronické řídicí jednotky. Pro řízení celé linky byl v programovém prostředí Delphi vyvinut program na PC, který umožňuje komunikaci s řídicí jednotkou linky a zároveň i s měřiči průtoku.

Klíčová slova: průtokoměrná linka, kalibrace, Delphi, RS232, řídicí jednotka

Abstract

Bachelor's labour describes the design of the flow bench for testing of flow meters. This flow bench should be used for research and teaching tasks in exploring methods of flow measurement flow.

In the opening chapter is discusses the theory of flow measurement, calibration methods flow and commented main the influences acting on the measure. From the theoretical presumptions is based a study of requirements on concrete flow measurement bench. The practical part describes the technical documentation for production flow bench, including mechanical parts and electronic control unit. For complete control of flow bench was in programming environment Delphi developed program on the PC, which allows communication with the control unit and also with flow meters.

Keywords: flow bench, calibration, Delphi, RS232, control unit

Obsah

Prohlášení	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Obsah	6
Seznam ilustrace	7
Seznam symbolů, zkratk a termínů	8
Úvod.....	9
1 Měření průtoku	10
1.1 Měření v otevřeném kanálu	10
1.2 Měření v uzavřeném kanálu.....	12
2 Kalibrace průtoku	15
2.1 Kalibrace přes váhu	15
2.1.1 Statické vážení	15
2.1.2 Dynamické vážení.....	17
2.2 Oběhová kalibrace	18
3 Vlivy způsobující nepřesnost měření.....	19
3.1 Druh proudění kapaliny a Reynoldsovo číslo.....	19
3.2 Rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice.....	20
3.3 Vliv tvaru potrubí.....	21
3.4 Hydraulické odpory	22
3.5 Kavitace	22
4 Průtokoměrná linka.....	24
4.1 Požadavky pro docílení správnosti naměřené hodnoty.....	24
4.2 Hlavní návrh linky	28
5 Řídicí jednotka.....	33
5.1 Hardwarová část jednotky	33
5.2 Softwarová část jednotky	36
5.3 Simulace.....	40
Závěr	41
Seznam použité literatury	42
Seznam příloh	44

Seznam ilustrace

Obr. 1. Názorné schéma kalibrace metodou statického vážení	16
Obr. 2. Názorné schéma kalibrace metodou dynamického vážení	17
Obr. 3. Názorné schéma kalibrace oběhovou metodou	18
Obr. 4. Průtokoměrná linka společnosti Enbra v Brně	24
Obr. 5. První návrh průtokoměrné linky	29
Obr. 6. Druhý návrh průtokoměrné linky	31
Obr. 7. Princip činnosti řídicí jednotky.....	33
Obr. 8. Schéma HW části řídicí jednotky	34
Obr. 9. Návrh DPS (měřítko 1:1).....	35
Obr. 10. Řídicí program: Připojení a ovládání ventilů	36
Obr. 11. Řídicí program: Nastavení průtoku a regulačního ventilu.....	37
Obr. 12. Řídicí program: Nastavení času měření, impulzních konstant a přijímání dat.	38
Obr. 13. Kompletní podoba řídicího programu	39
Obr. 14. Řídicí program: Ukázka vyhodnocení průtoku	40

Seznam symbolů, zkratek a termínů

TUL	Technická univerzita v Liberci
DN	Vnitřní průměr
ČMI	Český metrologický institut
IO	Integrovaný obvod
DA	Digitálně analogový převodník
AD	Analogově digitální převodník
Bd	Baud, jednotka modulační rychlosti, 1bd = 1bit/s (u RS232)
HW	Hardware
SW	Software
SMD	Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
DPS	Deska plošných spojů
TTL	Tranzistorově tranzistorová logika
DC	Stejnoseměrné napětí
PC	Personal Computer, nebo-li osobní počítač

Úvod

Měření množní protékající kapaliny je již dlouhá léta důležitým úkonem mnoha odvětví lidské činnosti. V dnešní době, kdy je mnoho lidských činností nahrazeno automatizační technikou, je správné vyhodnocení průtoku potřebné více než kdy jindy. Rozdíl mezi správným a chybným vyhodnocením průtoku může znamenat rozdíl mezi finančním ziskem a finanční ztrátou. Někdy jsou na vyhodnocení průtoku závislé lidské životy, například při měření průtoku krve pacienta během operace, či během povodní, kdy se v závislosti na velikosti průtoku začíná s evakuací obyvatel.

Hlavním cílem bakalářské práce je vytvoření návrhu průtokoměrné linky pro testování bytových a průmyslových průtokoměrů, pro případnou výrobu nové průtokoměrné linky pro školní laboratoře. Nová průtokoměrná linka by sloužila jak k měření během výuky, tak i k zkoumání vlastností proudící kapaliny a hledání nových způsobů měření průtoku. Největší využití by přinesla při testování různých průtokoměrných senzorů pro ověření správnosti měřené hodnoty. Vytvořená linka by měla být ne příliš velkých rozměrů a měla by být umístěna v prostorách laboratoří na TUL.

Firma EESA, zabývající se výrobou indukčních průtokoměrů, nabídla v rámci úzké spolupráce s TUL profinancování veškerých nákladů spojených s touto bakalářskou prací. Nabídla také setkání s odborníky, kteří by svými zkušenostmi z praxe mohli přispět k vytvoření co nejlepšího návrhu. K návrhu linky bylo také potřeba seznámení s hlavními metodami kalibrace a s hlavními metodami měření průtoku.

Výsledkem práce by měl být nejen návrh průtokoměrné linky, ale i řídicí jednotka, která by obsahovala hardwarovou i softwarovou část. Softwarovou částí by se přes PC jednoduše nastavila požadovaná hodnota průtoku a hardwarová část by měla požadovaný průtok uvnitř linky realizovat.

1 Měření průtoku

Měření průtoku se rozděluje na měření v otevřeném a uzavřeném kanálu. Otevřený kanál označuje žlab či koryto řeky a uzavřený kanál je chápán jako potrubí. Často se lze setkat s rozdělením na objemový a hmotnostní průtok. Při měření objemového průtoku se počítá protečené množství za určitý čas $Q = v / t$ [m^3/s]. u hmotnostního průtoku se bere v potaz protečené hmotnost kapaliny za čas $Q_m = m / t$ [kg/s]. Lze jej vypočítat také vynásobením objemového průtoku hustotou kapaliny. Lze měřit průtoky o velkém rozsahu teplot (od teploty kolem absolutní nuly až po teploty roztavených kovů), tlaků (od vakua až po několik tisíc barů), protečeného množství (od $0,1 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ do $5000 \text{ t} \cdot \text{s}^{-1}$).¹

Následně zde bude uvedeno několik hlavních metod a způsobů měření průtoku používaných v otevřených a v uzavřených kanálech.

1.1 Měření v otevřeném kanálu

Měření průtoku v otevřeném kanálu většinou znamená měření průtoku na říčních tocích, potocích, ale i odpadních stokách.

Nejjednodušším, a pro všechny nejznámějším způsobem měření v otevřeném kanálu, je použití vodočtu. Jedná se o měrnou lat' umístěnou většinou u říčního koryta, která je výškově oddělena po 1 nebo 2 cm. Z této latě se opticky vyhodnotí výška hladiny v toku. Velice podobným způsobem pracuje i limnigraf. Pomocí plováku či elektrickou indikací se vyhodnotí výška hladiny, která se posléze buď graficky, nebo digitálně zaznamená. v případě digitálního záznamu mohou být data přenášena dálkově, a proto nemusí být měrná stanice umístěna v blízkosti toku. Obě metody využívají k měření tzv. konzumpční křivku, což je měrná křivka průtoku. Její sestavení spočívá ve změření průtoku v toku při různých stavech hladiny. Pomocí konzumpční křivky a výšky hladiny pak lze zjistit aktuální průtok.²

¹ DĀDO S., BEJČEK L., PLATIL A.: Měření průtoku a výšky hladiny, str. 18.

² Přednáškové slidy předmětu 1141 HYA (Hydraulika) : Měření průtoku [online]. Praha : ČVUT, FAKULTA STAVEBNÍ, 2008 [cit. 2011-04-28].

Dalším způsobem vyhodnocení průtoku jsou měrné přelivy a měrné žlaby. Měrné přelivy jsou jednou z nejvyužívanějších měřidel objemového průtoku, protože jsou levné, jednoduché a jejich nejistota je asi jen 1 – 3 %, v závislosti na kvalitě přelivné hrany. Průtok záleží na výšce vodního paprsku tekoucího přes přelivnou hranu. Přelivná hrana může mít různé výřezy ve svislé stěně. Bazinův přeliv má obdélníkový výřez bez zúžení po stranách, který se využívá při měření větších průtoků. Pro menší průtoky je určen Thomsonův a Ponceletiho výřez. Ponceletiho výřez je též obdélníkový, ale se zúžením po stranách. Thomsonův výřez je pro změnu trojúhelníkový, který má pravý úhel na vrcholu trojúhelníku. Pomocí měrných přelivů se nedají měřit mechanicky znečištěné vody, docházelo by totiž k zanášení přelivu a tím by nešlo správně odměřit výšku přepadového paprsku.³

Naproti tomu měrné žlaby nejsou na mechanicky znečištěné vody tolik náchylné, a proto se využívají i při měření surových odpadních vod. Jde o přímý měrný kanál, jež má v určitém místě výrazné zúžení průtočného průřezu. Při zúžení toku dochází k poklesu hladiny, který je o to větší, čím větší je zúžení. Výsledný průtok je závislý na rozdílu výšek hladiny před a za zúžením a na šířce zúžení. Nejpožívanější jsou žlaby Venturiho a Parshallův. v momentě, kdy se protékané množství nemění, lze použít i metodu měření bodové rychlosti. Princip spočívá ve změření rychlostí průtoku v různých hloubkách a následné integraci rychlostního profilu. Integrací se získá objemový průtok. Měření bodové rychlosti využívá nejrůznějších druhů měřidel. Nejjednodušší jsou plováky, které však slouží spíše pro orientační měření, například při povodních. Dalším méně využívaným měřidlem v otevřených kanálech jsou čidla měřící dynamický tlak. Měří se celkový a statický tlak, jejichž rozdíl je roven tlaku dynamickému, který je úměrný rychlosti proudění. Jedná se např. o Pitotovu a Prandtlovu trubici.⁴

V dnešní době jsou nejvíce používanými měřidly elektromagnetická a hydrometrická vrtule. Elektromagnetické měřidlo bývá často označováno jako „Kachní zobák“. Pracuje na stejném principu jako indukční průtokoměr, má však elektrody umístěné blízko u sebe. Jeho použití se nechá uplatnit i při měření silně

³ *Přednáškové slidy předmětu 1141 HYA (Hydraulika) : Měření průtoku* [online]. Praha : ČVUT, FAKULTA TAVEBNÍ, 2008 [cit. 2011-04-28].

⁴ Tamtéž

znečištěných stok. Hydrometrická vrtule vlivem proudící tekutiny rotuje. Otáčky vrtule jsou pak přímo úměrné rychlosti proudění.⁵

1.2 Měření v uzavřeném kanálu

Měření průtoku v uzavřeném kanálu je odlišné od měření v otevřeném kanálu. Uzavřený kanál má přesně definovaný tvar a průřez potrubí, na rozdíl od otevřeného kanálu, kde většinou není znám profil dna koryta toku. Podle toho jsou upravena i měřidla, která obvykle pracují na stejném principu jako v otevřeném kanálu, avšak jsou jinak konstrukčně vyrobena a uzpůsobena měření v uzavřeném kanálu. Nyní následuje krátký výčet nejpoužívanějších typů průtokoměrů s krátkým objasněním principu činnosti.

Základní skupinu tvoří průtokoměry turbínové a lopatkové. Turbínu či lopatky uvádí do pohybu proudící kapalina dopadající na zakřivené listy rotoru. Rotor je umístěn osou ve směru proudění kapaliny, v případě lopatkových průtokoměrů je osa rotoru kolmá na směr proudění. Před a za turbínovým rotorem se objevují usměrňovače proudu, které se snaží převést případné turbulentní proudění na proudění laminární. Lopatkové průtokoměry se nemusejí individuálně kalibrovat, jestliže je u proudění dosaženo $Re > 5000$. Nevýhodou takto konstruovaných průtokoměrů je opotřebovávání ložisek a tlaková ztráta, která může způsobit kavitaci a tím velice ovlivnit měření. Nelze s nimi měřit velmi malé průtoky, protože k uvedení turbíny či lopatek do pohybu je potřeba určitá kinetické energie kapaliny, která je úměrná kvadrátu rychlosti. Při velmi malých rychlostech průtoku kapalina turbínu či lopatky spíše obtéká, než aby je uváděla do pohybu.⁶

Dalším typem jsou průřezové průtokoměry. Základem je desková clona s výřezem umístěná kolmo na směr proudu. Výřezy mohou mít různé i nesymetrické tvary. Kapalina procházející tímto výřezem v cloně zrychluje, čímž dochází ke zmenšení statického tlaku v místě zúžení. Celkový tlak zůstává stejný, mění se pouze tlak statický. Před a za clonou jsou umístěny snímače tlaku, jejichž rozdílem se vypočítá dynamický tlak, který je úměrný rychlosti proudění. Nevýhodou těchto průtokoměrů je

⁵ Přednáškové slidy předmětu 1141 HYA (Hydraulika) : Měření průtoku [online]. Praha : ČVUT, FAKULTA TAVEBNÍ, 2008 [cit. 2011-04-28].

⁶ ĎAĎO S., BEJČEK L., PLATIL A.: Měření průtoku a výšky hladiny, str. 97 - 109

vznik celkem značné tlakové ztráty. i přes to jsou v průmyslu hojně využívány, vhodně vyříznutou a proti znečištění ochráněnou clonou se totiž nechá dosáhnou velmi přesného měření s nejistotou řádově desetiny procenta.⁷

Jedním z představitelů hmotnostních průtokoměrů jsou průtokoměry založené na měření Coriolisovy síly. Kapalina o rychlosti v a hmotnosti m prochází průtokoměrnou soustavou kmitající úhlovou rychlostí ω . Výsledná Coriolisova síla je pak rovna vektorovému součinu rychlosti proudění kapaliny a rychlosti kmitání, podle vzorce $F_C = 2m(v \times \omega)$.⁸ Průtokoměry však neměří přímo Coriolisovu sílu, to by nebylo příliš obratné. Proto se měří moment který působí na měřicí trubku, která může mít mnoho podob. Základní rozdělení je s přímou, nebo zakřivenou trubkou. Přímé trubky nemají velké tlakové ztráty, lépe se čistí a jsou odolnější vůči pnutí. Zakřivené zase mají větší citlivost, menší projevení rušivých vibrací. Volba měřicí trubky závisí na požadavcích měření. Celkově jsou však považovány za přesné průtokoměry, u kterých nejsou podstatné další vlastnosti kapaliny.⁹ V dnešní době se však hojně využívá indukčních průtokoměrů. Jejich nespornými výhodami jsou téměř nulové tlakové ztráty a možnost měřit i kalové kapaliny. Hlavní části indukčních průtokoměrů jsou dvě budící cívky obklopující horní a spodní část průtokoměru a dvě postraní sběrné elektrody. Princip je založen na Faradayově indukčním zákonu, který zní: „Změní-li se magnetický indukční tok ve vodiči za dobu Δt o $\Delta \Phi$, vzniká ve vodiči indukované elektromotorické napětí, jehož střední hodnota je $U_i = -\Delta \Phi / \Delta t$ “¹⁰. Budící cívky vytvářejí proměnlivé magnetické pole, a proudící kapalina vytvoří na postraních elektrodách napětí, které je úměrné rychlosti proudění kapaliny. Nutností je, aby byly elektrody celé potopené, tzn. průtokoměr musí být zcela zaplaven. Dalším důležitým aspektem pro použití indukčních průtokoměrů je vodivost kapaliny. Hraniční konduktivita se udává 5 $\mu\text{S/cm}$. Průtok deionizované vody a benzínu s vodivostí 10⁻⁸ $\mu\text{S/cm}$ nelze pomocí indukčních průtokoměrů změřit. Pro takto malé vodivosti je potřeba využít průtokoměr na jiném

⁷ ĎAĎO S., BEJČEK L., PLATIL A.: Měření průtoku a výšky hladiny, str. 55-75.

⁸ REICHL, Jaroslav ; VŠETIČKA, Martin. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2011 [cit. 2011-04-20]. Coriolisova síla. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=43>>

⁹ ĎAĎO S., BEJČEK L., PLATIL A.: Měření průtoku a výšky hladiny, str. 207-232.

¹⁰ REICHL, Jaroslav ; VŠETIČKA, Martin. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2011 [cit. 2011-05-04].

Faradayův zákon elektromagnetické indukce. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=304>>

principu činnosti. Tam, kde nejdou použít indukční průtokoměry, lze využít průtokoměry ultrazvukové. Ty produkují frekvence vyšší než 20 kHz, které jsou následně skrze proudící kapalinu vyslány od vysílače k přijímači. Přijímač a vysílač je většinou jeden kus piezoelektrického materiálu, který pracuje buď v piezostrikčním (vysílač) nebo piezoelektrickém (přijímač) režimu. Měří se doba, za kterou dorazí signál od přijímače k vysílači. Rychlost šíření signálu je ovlivněna proudící kapalinou. Ultrazvuková měřidla nemají žádné části se kterými by přišla do kontaktu s kapalinou, jsou proto vhodná pro měření průtoku různých kyselin, agresivních, výbušných či sanitárních látek. Jelikož neobsahují žádnou pohyblivou mechanickou část, jsou velmi spolehlivými průtokoměry.¹¹

¹¹ ĎAĎO S., BEJČEK L., PLATIL A.: Měření průtoku a výšky hladiny, str.161-204, 139-158.

2 Kalibrace průtoku

Návrh průtokoměrné linky je upřednostněn pro měření v uzavřeném kanálu, proto zde budou popsány pouze hlavní metody kalibrace průtoku v uzavřeném kanálu.

Průtokoměry využívají k vyhodnocení průtoku různé způsoby. Všechny by však měly v rámci nejistot ukazovat stejný průtok. Není-li tomu tak, průtokoměr nefunguje správně nebo není správně kalibrován. Správné vyhodnocení průtoku je velice důležité, a proto se provádí kalibrace. Tou se docílí toho, že průtokoměry založené na různých principech měření, jiné pořizovací ceně či různého stáří budou vyhodnocovat průtok stejně, bez nějakých velkých chyb. Kalibraci etalonových měřičů provádí Český metrologický institut. Vyrábí-li některá firma průtokoměry, nemusí každý vyrobený kus posílat ke kalibraci do ČMI, může mít ČMI schválenou vlastní kalibrační průtokoměrnou linku a na ní jednotlivé výrobky kalibrovat. Jsou dva základní způsoby kalibrace. Přes váhu nebo oběhově.

2.1 Kalibrace přes váhu

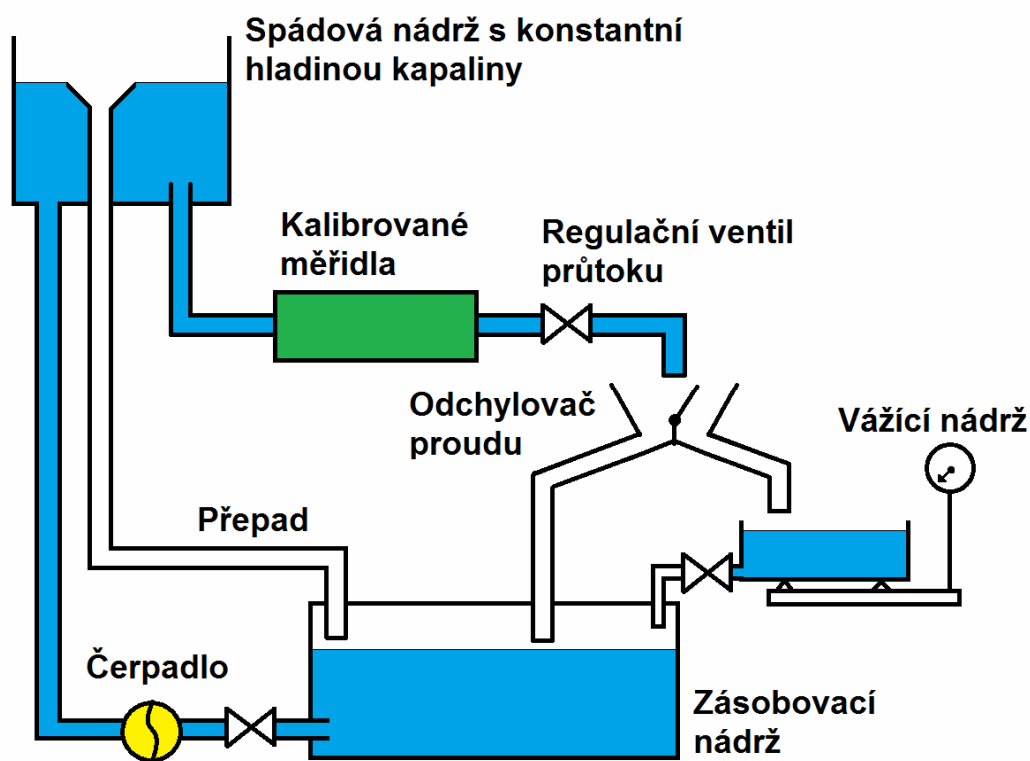
Kalibrace založená na principu vážení je považována za jednu z nejpřesnějších a nejstabilnějších metod používaných ke kalibraci. u této metody je velice důležité kontrolovat správnou teplotu kapaliny, neboť s rozdílnou teplotou mění kapalina svůj objem. Metoda přes váhy udává pouze střední hodnotu průtoku. Metodu můžeme rozdělit ještě na dva způsoby. Na statické a dynamické vážení. Nevýhodou této metody je fakt, že se dá měřit pouze za atmosférického tlaku.

2.1.1 Statické vážení

Princip statického vážení je založen na spádové nádrži, ve které je udržována konstantní hladina. Konstantní hladina je udržována kvůli tlaku, který by se jinak s ubývajícím množstvím vody zmenšoval. Voda z této nádrže je samospádem dopravována přes kalibrovaný průtokoměr k regulačnímu ventilu a přes něj k odchylovači proudu, který má za úkol oddělovat vodu buď do vážicí nádrže, nebo do zásobní nádrže. Zásobní nádrž slouží k doplňování vody ve spádové nádrži. Vážicí nádrž spočívá na velmi citlivých vahách, které velice přesně zváží množství vody uvnitř

vážicí nádrže. Po přijetí dostatečného množství vody odvrátí odchylovač směr proudu do zásobní nádrže. Po skončení měření se voda z vážicí nádrže dopraví do zásobní nádrže. Pro správnou kalibraci je však potřeba dbát některých pravidel.¹²

Spádová nádrž by měla být zakryta, aby se do ní nedostali nečistoty, které by mohly zanést potrubí nebo jinak ovlivnit průtok.



Obr. 1. Názorné schéma kalibrace metodou statického vážení

Doba vychýlení proudu odchylovačem by měla být menší než $1 / 50$ celkového času potřebného ke zkoušce. Takto rychlé vychýlení zmenší chybu času, který je potřeba k naplnění vážicí nádrže.¹³

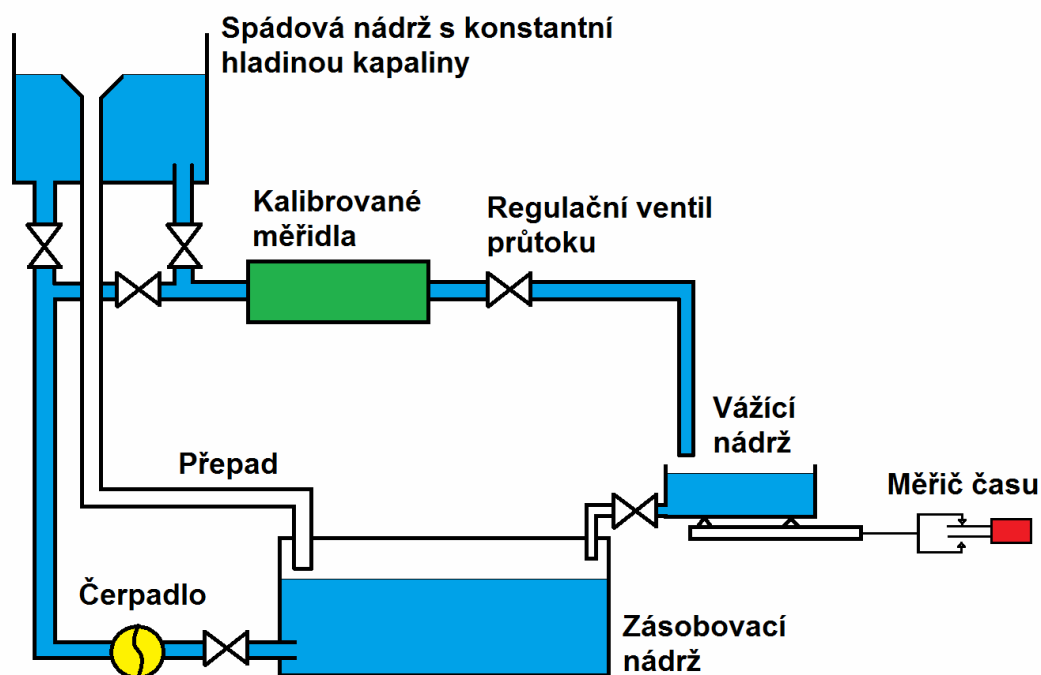
Vážicí nádrž musí být tak velká, aby při maximálním průtoku byla doba plnění alespoň 30 s. Nádrž musí být dokonale těsná a nesmí též docházet k přetékání. Může být uvnitř doplněna o další stěny nebo příčky, aby se snížila oscilace hladiny a zároveň se zvýšila celková tuhost nádrže. Tvar nádrže může být libovolný, musí však odolávat

¹² ČSN EN 24185+AC. *Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech : Vážicí metoda*

¹³ LOJEK, Libor. *Konfirmace zkušebního zařízení pro měření průtoku* [online]. Brno : Český metrologický institut, [2007] [cit. 2011-03-08]. 15 s. Dostupné z WWW: <www.cmi.cz>

silovému nárazu proudu kapaliny od odchylovače. S tím je spojeno i správné uchycení nádrže ke měřicím vahám. Délku doby měření obvykle obstarává elektronický čítač s krystalem řízenou časovou základnou s přesností větší než 0,01 s. Měření času je obvykle spuštěno v okamžiku, kdy je poloha odchylovače asi v polovině své dráhy. Tato metoda bývá občas také doplněna ve spádové části o etalonový průtokoměr, podle něhož je možné určit okamžitou hodnotu průtoku.¹⁴

2.1.2 Dynamické vážení



Obr. 2. Náznorné schéma kalibrace metodou dynamického vážení

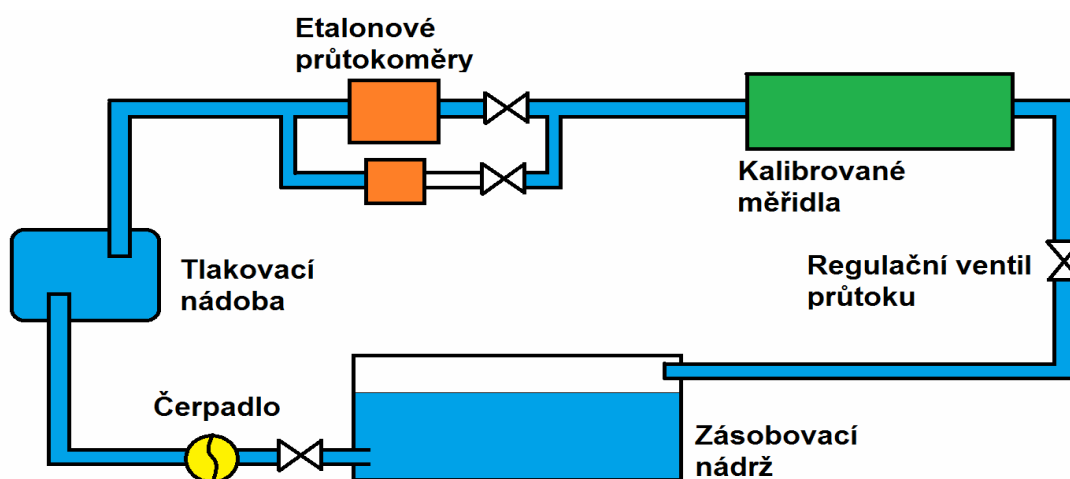
V případě dynamického vážení je postup velice podobný. u této metody již není odchylovač proudu zapotřebí, neboť vážicí nádrž je neustále plněna. Měření je prováděno mezi dvěma hmotnostními body. Jakmile vážicí nádrž dosáhne prvního hmotnostního bodu, spustí se měřič času, který čítá až do dosažení druhého hmotnostního bodu. u této metody se nemusí využívat kalibrovaných vah, ale využije se místo toho nádrž, která má přesné hladinové spínače. v nádrži nejsou hmotnostní body, ale objemové body, mezi kterými je spuštěn měřič času. Objemové body vycházejí z hladinových spínačů a velmi přesně daném objemu nádoby mezi oběma hladinovými

¹⁴ ČSN EN 24185+AC. Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech : Vážicí metoda

spínači. Postup vyhodnocení průtoku je pak velmi podobný jako při statickém vážení. Střední hodnota průtoku je dána podílem rozdílu hmotnostních či objemových bodů a načítaným časem.¹⁵

2.2 Oběhová kalibrace

Na rozdíl od kalibrace přes váhu není u této metody potřeba žádná spádová nádrž. Kapalina je ze zásobovací nádrže čerpadlem hnána přes etalonové průtokoměry. u velké světlosti průtokoměru by se hůře měřil malý průtok a u malé světlosti by se zase naopak špatně měřil velký průtok. Proto je linka většinou osazena větším počtem etalonových průtokoměrů různých průměrů, které jsou k lince připojeny paralelními odbočkami. Za etalonovými průtokoměry jsou umístěny kalibrované průtokoměry. Za nimi následuje škrtící ventil, kterým se nechá upravit protékané množství kapaliny, případně zvýšit tlak kapaliny. Poté je kapalina dopravena zpět do zásobovací nádrže. Pro měření při větším tlaku kapaliny je linka osazena expanzní nádobou, pomocí níž lze nastavit požadovaný tlak kapaliny, která bývá většinou umístěna za čerpadlem. Oběhová kalibrace pracuje na principu srovnávání. Etalonové průtokoměry ukazují přesné množství kapaliny, které protéká potrubím. Správnou kalibraci průtokoměru se dosáhne tím, že kalibrovaný průtokoměr bude udávat stejné protečené množství, jako etalonový průtokoměr.



Obr. 3. Názorné schéma kalibrace oběhovou metodou

¹⁵ ČSN EN 24185+AC. Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech : Vážící metoda

3 Vlivy způsobující nepřesnost měření

Proudění kapalin není nikdy ideální. Ať už v otevřeném nebo uzavřeném kanálu, vždy na průtok působí nějaké negativní vlivy. U otevřeného kanálu negativně působí vítr, nečistoty z okolí u zavřeného pro změnu zase tlakové ztráty, tvar potrubí a mnohé další. Je potřeba se pokusit tyto negativní vlivy minimalizovat, v nejlepších případech je úplně odstranit. Zde je uvedeno několik hlavních metod k popsání chování kapaliny a také některé nežádoucí situace, které mohou při průtoku kapalin vzniknout.

3.1 Druh proudění kapaliny a Reynoldsovo číslo

Proudění kapalin může být rozděleno na proudění ideálních a skutečných kapalin. Ideální kapalina je nestlačitelná a bez vnitřního tření. Skutečná kapalina má vnitřní tření a je lehce stlačitelná. Použití ideální kapaliny je především teoretické, pro zkoumání mechanických vlastností kapaliny. Při proudění skutečné kapaliny mohou nastat dva typy proudění – laminární a turbulentní. Rychlostní profil u laminárního proudění připomíná rotační paraboloid. Turbulentní proudění má zase rychlostní profil podobný obdélníku. Přesná podoba rychlostního profilu jak turbulentního, tak laminárního proudění závisí na rychlosti proudění. Při pomalých rychlostech je laminární rychlostní profil méně vypouklý a se zvyšující se rychlostí se jeho vypouknutí zvětšuje. Při dosažení určité rychlosti se proudění změní z laminárního na turbulentní. Jeho profil je pak podobný oblému lichoběžníku a s narůstající rychlostí se více podobá obdélníku.¹⁶ Souvislosti mezi rychlostí šíření kapaliny a typem proudění se zabývá Reynoldsovo číslo.

Reynoldsovo číslo dává do souvislosti rychlost proudění kapaliny a její kinetickou viskozitu. Jeho hodnota je pro každý průměr potrubí jiná a vypočítá se z uvedeného vztahu:

$$Re = \frac{v_s D}{\nu} \quad [-], \quad (3.1)$$

,kde v_s označuje střední hodnotu průtoku, D je jmenovitý průměr potrubí a ν je kinematická viskozita proudící tekutiny. Za kritickou hodnotu Reynoldsova čísla se považuje hodnota $Re_k = 2320$. Je-li výsledná hodnota $Re < Re_k$ pak lze mluvit

¹⁶ NOSKIEVIČ, Jaromír, et al. *Mechanika tekutin*, str. 184-188

o laminárním proudění a naopak, je-li $Re > Re_k$ pak se jedná o proudění turbulentní. Kritická hodnota však není pevně daná, neboť při experimentálním měření se dosáhlo laminárního proudění i při velikosti čísla Re řádově 10^4 . Tudíž turbulentní proudění vzniká z laminárního proudění náhlým skokem, za určitých podmínek v rozmezí $2320 < Re < 14000$. Většinou se však používá kritická hodnota $Re_k = 2320$ a při potřebě přesnějšího údaje se musí číslo zjistit experimentálně za konkrétních podmínek.¹⁷

3.2 Rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice

Základními rovnicemi pro mechaniku tekutin jsou rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice. Rovnice kontinuity je matematické vyjádření zákona zachování hmotnosti:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = konst. \quad (3.2)$$

Rovnice kontinuity obecně říká, že stejné množství kapaliny, které do potrubí o ploše průřezu S_1 vteče rychlostí v_1 , musí také při změně průřezu na S_2 vytéci rychlostí v_2 . Lehce stlačitelná skutečná kapalina by se v důsledku své nestálé hustoty mohla uvnitř potrubí hromadit a tím by nebyla splněna platnost rovnice. Proto se tato rovnice vztahuje k pouze k proudění ideální kapalin.¹⁸

Další rovnicí, která je v mechanice tekutin velmi důležitá, je Bernoulliho rovnice. Vychází ze základní rovnice kontinuity a pojednává o zákonu zachování mechanické energie:

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho gh = konst. \quad (3.3)$$

kde	ρ	je hustota proudící kapaliny
	p	je tlak kapaliny
	g	je tíhové zrychlení
	h	je výška

Podobně jako rovnice kontinuity i Bernoulliho rovnice je určena pro ideální kapaliny. Celková energie musí být zachována a tudíž součet kinetické a potenciální energie musí být stejný. Kinetická energie se při zmenšení průměru potrubí zvětší, tlaková potenciální se naopak zmenšuje. Rozdílnost tlaků v závislosti na světlosti

¹⁷ NOSKIEVIČ, Jaromír, et al. *Mechanika tekutin*, str. 184-188

¹⁸ Tamtéž, 84-89

potrubí využívají některé druhy průtokoměrů, např. rotametry a plováčkové průtokoměry.¹⁹

3.3 Vliv tvaru potrubí

V přímém potrubí je šíření kapaliny bez obtíží. Dojde-li však k ohybu potrubí, nastává změna rychlostního profilu. Rychlostní profil se po vstupu do ohybu rychle deformuje směrem ke středu ohybu potrubí. Rychlejší částice sledují cestu nejmenšího odporu přes střed ohybu, což vede ke zvětšení rychlosti proudění. Pomalejší částice jsou rychlejšími částicemi donuceny k radiálnímu pohybu, což vede ke vzniku vírů těsně za ohybem. Tyto víry však po narovnání ohybu do přímé části zanikají. To vede k velké změně profilu proudění na výstupu ohybu. Přidáním dalšího ohybu dochází k další, mnohem větší deformaci, která se může ustálit i ve vzdálenosti až 150 DN. Proto se doporučuje přidat mezi jednotlivé ohyby přímé úseky dlouhé alespoň 5 DN.

Změna rychlostního profilu je také vyvolána redukcí nebo expanzí průměru potrubí. Při skokové změně potrubí z širšího na užší dochází ke zploštění rychlostního profilu, zatímco při rozšíření užšího průměru na širší dochází ke zvýšení rychlostního profilu v jeho střední části. Průtokoměry reagují na tyto změny zmenšením nebo zvětšením údaje o protečeném množství, tudíž by měly být instalovány minimálně 10 DN za změnou průměru potrubí. Toto platí pro průtokoměry elektromagnetické, pro ostatní průtokoměry by tato vzdálenost měla být asi 15 až 20 DN.

Jsou-li v potrubí nainstalovány odbočky, dochází též ke změně rychlostního profilu. Záleží ovšem na tom, zda odbočka slouží k odvodu části toku nebo ke spojení několika toků. Při odvodu části toku do odbočky se rychlostní profil v přímém pokračujícím potrubí lehce deformuje. Zpomaluje se jeho část, která je na straně odbočky. Odbočený tok se chová stejně jako při ohybu potrubí. Sjednocují-li se dva toky dohromady, dochází ke zvětšení rychlostního profilu na opačné straně, než je odbočka. Na téže straně se však rychlost zmenšuje. To má za důsledek vytvoření vírů, které zanikají až po úplném sjednocení toků.²⁰

¹⁹ REICHL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2011 [cit. 2011-05-10].

Bernoulliho rovnice. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=125>

²⁰ ĎAĎO S., BEJČEK L., PLATIL A.: Měření průtoku a výšky hladiny, str. 37-39

3.4 Hydraulické odpory

Jak již bylo řečeno, proudění skutečných kapalin vykazuje tření. Tření vzniká jednak vzájemným třením jednotlivých částic kapalin a také mezi povrchem potrubí a kapalinou, které jsou nazývané jako hydraulické odpory a působí vždy proti pohybu částic kapaliny. Hydraulické odpory lze rozdělit na odpory třecí a místní. Třecí odpory jsou závislé na délce a tvaru průřezu průtočného potrubí. Je-li proudění ustálené, pak je velikost třecích odporů přímo úměrná délce potrubí. Naproti tomu místní odpory vznikají v úsecích, kde má potrubí umístěno kolena, odbočky, nebo u regulačních ventilů, uzavíracích orgánů, u pozvolných či skokových změn průměru potrubí apod. Všechny tyto případy vyvolávají změnu vektoru rychlosti, čímž může dojít ke změně směru a velikosti rychlosti proudění, které může vyvolat víření či odtrhnutí proudu. v místě, kde dochází ke změně vektoru rychlosti, dochází k rozptylu energie proudící kapaliny. Třecí i místní odpory jsou doprovázeny tlakovými ztrátami. Tlakové ztráty jsou dány rozdílem tlaků, které jsou v případě třecích odporů naměřeny na začátku a na konci potrubí. v případě místních odporů je počítán rozdíl před a za místním odporem. Veliké tlakové ztráty mohou při proudění kapaliny s vysokým obsahem plynu vést ke vzniku kavitace²¹.

3.5 Kavitace

Kavitace je označení pro náhlý vznik plynné fáze v kapalině. k tomu dochází při snížení tlaku kapaliny na tlak nasycených par o stejné teplotě jako má kapalina. Kapalina se začne odpařovat a vytváří vzduchové bublinky, které jsou unášeny proudem kapaliny a po dosažení oblasti vyššího tlaku začne pára v bublinkách kondenzovat a vytvářet se kavitační dutiny. Při malém zvýšení tlaku dojde ke kondenzaci vzniklé páry a v kavitační bublině bude velmi malý tlak (teoreticky vakuum). Tyto dutiny jsou pak následně zaplňovány okolní kapalinou, která do nich vniká velkou rychlostí a po jejich celém zaplnění dochází k obrovskému zpomalení kapaliny. Dojde-li ke kavitaci na povrchu nějakého materiálu, potom se rychle vnikající kapalina zastaví o materiál, na kterém kavitace vznikla. Takovýto materiál je namáhán velkými silami. v závislosti na materiálu na velikosti kavitačních dutin dochází k narušení povrchu materiálu. Každý materiál má jinou odolnost proti kavitaci. Nejvhodnější se ukázaly materiály, které mají

²¹ NOSKIEVIČ, Jaromír, et al. *Mechanika tekutin*, str. 228-246

vysokou odolnost proti plastické deformaci, s jemnozrnnou homogenní strukturou s tlakovým pnutím v povrchové vrstvě, s velkou odolností proti korozi a s vysokou tvrdostí. Materiál, který by byl zcela odolný vůči kavitaci nebyl ještě objeven.²²

²²NOSKIEVIČ, Jaromír. *Kavitace*, str. 17 – 20, 69–105

4 Průtokoměrná linka

Průtokoměrná linka může mít mnoho konstrukčních podob a může také pracovat na různých principech, vždy ale slouží ke kalibraci nebo ověřování správné činnosti průtokoměrů. Firmy zabývající se výrobou průtokoměrů většinou z důvodů testování vyrobených kusů nějakou průtokoměrnou linku vlastní. Takové linky musí být však kalibrovány a schváleny ČMI. Ať linka slouží ke kalibraci průtokoměrů nebo jen k ověřování jejich činnosti, měla by splňovat určité požadavky.



Obr. 4. Průtokoměrná linka společnosti Enbra v Brně²³

4.1 Požadavky pro docílení správnosti naměřené hodnoty

Zákon rozděluje měřidla na čtyři základní kategorie. Těmi jsou pracovní měřidla, stanovená měřidla, etalony a certifikované referenční materiály. Kalibrační linka pro testování průtokoměrů je soustava různých měřidel a vybavení, jenž vytváří funkční systém, jehož výsledkem je naměřená hodnota. Správnost naměřené hodnoty závisí nejenom na správné hodnotě etalonových měřidel, ale i na správné funkci všech použitých zařízení. Pokud se bude vycházet z normy ČSN EN17025, zkušební zařízení pro ověřování průtoku by mělo být v určitém časovém intervalu kontrolováno

²³ Zdroj: www.enbra.cz [online]. 2007 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z [www: http://www.enbra.cz/zkusebni-zarizeni-vodomery-prutokomery/](http://www.enbra.cz/zkusebni-zarizeni-vodomery-prutokomery/)

a ověřováno, zda stále pracuje jak má. Tím se zamezí chybným výsledkům měření, které mohou vzniknout vadou nebo poruchou na nějaké části zařízení. Takové chyby by vedly k časové ztrátě, kterou by bylo potřebné obětovat pro další měření. Dobrým způsobem, jak zjistit, zda jde na průtokoměrné lince správně nakalibrovat průtokoměr, je možnost vzít onen průtokoměr a vyzkoušet je na jiném místě, třeba v některých laboratořích. Pro orientační měření se však toto měření uskutečňovat nemusí. Měrná linka je pod neustálým vývojem. Vznikají nové a přesnější měřidla, nové materiály lépe odolávající kavitaci. Tím vznikají i nové nároky na kontrolu technického stavu a správnou funkci všech armatur. Pro dosažení správného výsledku na měrné lince by mělo být dodrženo několik požadavků, které přispějí k správnosti výsledku.²⁴

Měrná linka by měla být umístěna na takovém místě, kde nebudou působit negativní vlivy, jako např. vibrace, změny teploty, atd. Měrná kapalina, v tomto případě pitná voda bez vzduchových bublin nesmí poškodit měřidlo. Toho by byla schopná, jestliže by obsahovala nějaké nečistoty či mechanický odpad. Nečistoty by mohly poškodit průtokoměr i čerpadlo a vzduchové bubliny by mohly způsobit kavitaci, která by mohla poškodit kteroukoli vnitřní část linky. Provozní tlak kapaliny by měl být alespoň 2,0 bar. Pokud takový tlak není možné udržet, musí se docílit toho, aby byl tlak sice menší, ale udržován konstantní po celou dobu probíhání zkoušky. Tlak se též nesmí měnit o více než $\pm 10\%$ na vstupní straně kalibrovaného měřidla. S tlakem je spjat i potrubní okruh, ve kterém by měl být přetlak alespoň 0,3 bar i při nulovém průtoku.

Velikost změny průtoku během jedné zkoušky by neměl překročit hranici $\pm 2,5\%$ při teplotě provozní kapaliny $20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, nebo $50 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato stanovená teplota by se neměla měnit o víc jak $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ během doby měření. v měřicí trati musí být umístěno průhledítko, jímž se bude kontrolovat, zda provozní kapalina neobsahuje vzduchové bubliny, popřípadě musí být ještě opatřena systémem pro odstranění nadbytečného vzduchu. Samozřejmostí je, že stav nebo množství kapaliny v lince musí být shodné na začátku zkoušky i na konci.²⁵

Tyto požadavky docílily v utvoření několika pravidel, které je potřeba dodržet, aby byly výše uvedené požadavky splněny. v průtokoměrné lince by mělo být umístěno více tlakoměrů, z nichž jeden by měl být umístěn co nejbližší vstupní straně

²⁴ LOJEK, Libor. *Konfirmace zkušebního zařízení pro měření průtoku* [online]. Brno : Český metrologický institut, [2007] [cit. 2011-03-08]. 15 s. Dostupné z WWW: <www.cmi.cz>

²⁵ Tamtéž

kalibrovaného průtokoměru. Jejich umístění nesmí způsobit kavitaci, ovlivnit proudění a ani nesmí ovlivnit přesnost měření. Teploměry a různé nástroje pro měření teploty kapaliny musí být umístěny též na vstupní straně zkoušeného měřidla. o umístění platí stejné pravidla, jako o umístění tlakoměrů. Přesnost prostředků na měření tepla může být $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro objemovou metodu a $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro hmotnostní. Měření času probíhající zkoušky musí být vztažen k nějakému úkonu. u oběhové metody se měří čas od začátku pohybu otevírání ventilu a konec je vztažen k začátku pohybu uzavírání ventilu. u metody přes váhy je začátek a konec v momentě, kdy odchylovač proudu je v polovině své dráhy na začátku měření i na konci měření. Měření času by mělo mít přesnost 0,01 s. Takovou a i lepší přesnost lze dosáhnout elektronickými měřiči času, které jsou vybaveny časovačem založeným na krystalu.²⁶

U průtokoměrné linky má na přesnost vliv mnoho faktorů a opakovatelnost správnosti dosažených výsledků závisí především na časové stálosti časového měřiče, metodě kalibrace, rychlosti přenosu dat, odezvy měřidla, instalace měřidla, vzorkování, přesnosti atd. Také vlastnosti elektronických zařízení, zejména a / D a D / a převodníků mají podstatný vliv, a proto je vhodné dbát jejich výběrů náležitou pozornost.

Průtokoměrná linka by měla být udržována v dobrém stavu. Dobrý stav linky je dobrý nejenom pro samotnou linku, ale především pro její životnost a pro správnou naměřenou hodnotu. Proto by mělo být několik úkonů, které by se s časovými intervaly prováděly. Jedním z nejdůležitějších úkonů je kontrola úniku vody. Únik vody by znamenal velké znehodnocení měření zejména u kalibrace přes váhy. Těsnost zařízení se kontroluje hlavně mezi zkoušeným průtokoměrem a měrnou linkou, kde je největší pravděpodobnost netěsnosti. Kontrola se provádí vizuálně při maximálním nebo pracovním tlaku. Netěsnost by se při takovém tlaku objevila přibližně během 15 minut. Těsnost se musí kontrolovat i u referenčního zařízení, u etalonové měrné nádrže nebo u vážicí nádrže. Kontrola těchto nádrží se provádí u časově nejdelších měření a při opakovaném měření se kontroluje stav tekutiny a porovnává se jak s předešlou výškou hladiny, tak s celkovou výškou. Případný rozdíl v rozmezí $\pm 1\text{ mm}$ je brán jako možný limitní interval kolísání hladiny. Záleží však na tvaru a objemu sběrné nádrže. Výška hladiny ve sběrných nádržích musí také odpovídat množství vody, které vyteklo ze

²⁶ LOJEK, Libor. *Konfirmace zkušebního zařízení pro měření průtoku* [online]. Brno : Český metrologický institut, [2007] [cit. 2011-03-08]. 15 s. Dostupné z WWW: <www.cmi.cz>

spádové nádrže. Vznikne-li rozdíl v těchto objemech vody, dochází pravděpodobně k úniku kapaliny někde v průtočné části zkušebny. Uzavírací ventil se kontrole těsnosti též nevyhne. Těsnost se kontroluje, když je ventil zavřený. Tlak vytvořený od čerpadla, spádové či tlakové nádrže se přivede na uzavřený ventil a ten musí za dobu cca 15 minut udržet vodu a nepropustit ji skrze klapku či těsnění. Nestačí, aby byl ventil těsný pouze z jedné strany, a proto se kontroluje jeho propustnost v obou směrech. Musí se provádět i kontrola od vzdušnění. Přítomnost plynné fáze v kapalině by měla být kontrolována před každým měřením. k tomu účelu slouží průhledítko, kterým se vizuálně kontroluje, zda proudící kapalina obsahuje vzduchové bubliny či nikoliv. v lince musí být zabráněno zpětnému pohybu vody. Tato skutečnost je důležitá především na začátku a na konci měření. Zabránění zpětnému pohybu vody lze dosáhnout pomocí prvotního natlakování linky např. čerpadlem a následným otevřením ventilů. Tím vznikne u čerpadla oblast s vyšším tlakem a kapalina se, jak bylo řečeno, šíří od místa většího tlaku do místa s menším tlakem. Tudíž kapalina nepoteče v opačném směru. Zabránění zpětného pohybu musí být učiněno i u konce měření. Toho lze dosáhnout podobně. Nejdříve se uzavřou ventily a až po jejich zavření je možné odpojit čerpadlo.²⁷

Linka by též mohla obsahovat tzv. uklidňovací úseky, kde by se rychlostní profil šíření kapaliny ustálil a citlivé měřicí přístroje by pak měřili lépe. Také použitím delších uklidňovacích úseků by se minimalizovaly nesrovnalosti v rychlostním profilu, což by měření jedině pomohlo. Na změnu rychlostního profilu proudící kapaliny jsou náchylné některé měřicí přístroje. Proto by se měl při testování více průtokoměrů zvážit vliv předešlého průtokoměru na následující a pro minimalizaci změn rychlostního profilu vložit mezi jednotlivé průtokoměry uklidňovací části. Např. indukční průtokoměry umístěné bezprostředně vedle sebe se navzájem ovlivňují svým elektromagnetickým polem. Je proto vhodné zvážit umístění sledovaných zařízení. Pro indukční průtokoměry je též velice důležitá vodivost vody, která by se při jejich použití měla kontrolovat. Kontrolovat by se měl taky čas probíhající zkoušky. Doba měření by měla být minimálně 50 x větší, než doba potřebná k otevření a uzavření uzavíracího ventilu. Minimálně se však udává doba alespoň 120 s. Sledování tlaků, teploty a dalších

²⁷ LOJEK, Libor. *Konfirmace zkušebního zařízení pro měření průtoku* [online]. Brno : Český metrologický institut, [2007] [cit. 2011-03-08]. 15 s. Dostupné z WWW: <www.cmi.cz>

referenčních podmínek je taktéž velice důležité, neboť jakákoliv jejich změna ovlivní přesnost výsledné hodnoty. Zejména u kalibrace přes váhy je velice náchylná teplota, protože s měnící se teplotou mění kapalina svůj objem, a tím by se pak neshodoval protečený objem kapaliny s množstvím kapaliny ve vážící nádrži. Potřeba je též dohlédnout na správné uchycení a vedení, ať již napájecích či datových kabelů. Veškeré elektronické prvky by měly být ochráněny před případným únikem vody a v případě živých částí by mělo být zabráněno možnému ublížení na zdraví obsluhy.

Těmito popsanými požadavky, pravidly a úkony se docílí dobrého stavu průtokoměrné linky a minimalizace nejistoty měření způsobenou použitými přístroji a okolními vlivy. Taktéž se tím zvýší bezpečnost při měření na lince. Kontrolu jednotlivých dílčích částí je potřeba zvolit individuálně, s rozložením na denní, měsíční a roční kontrolu. Odvzdušnění je potřeba kontrolovat před každým měřením, vodivost vody se ale může kontrolovat jen párkrát do roka. Vše je však individuální záležitost obsluhy kalibrační linky.²⁸

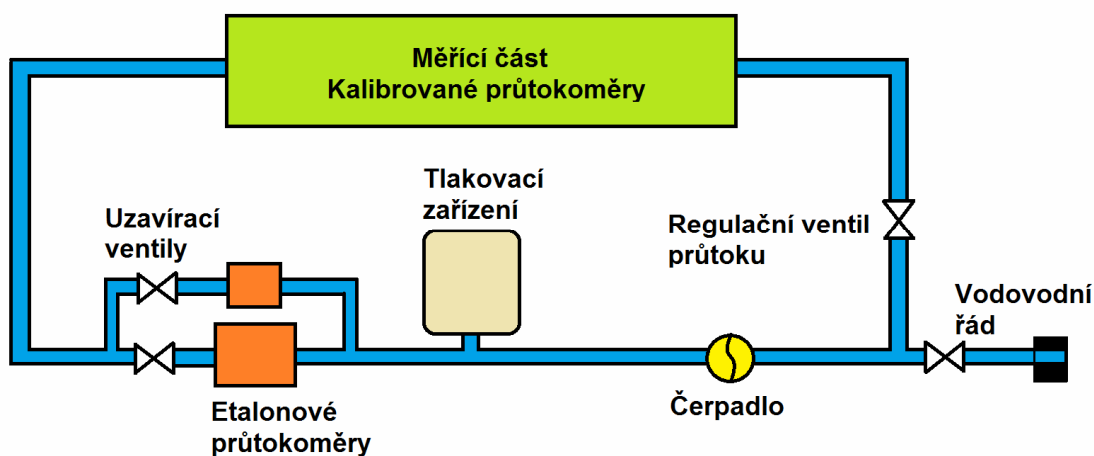
4.2 Hlavní návrh linky

Návrh průtokoměrné linky byl podnícen možnou stavbou nové měřicí laboratoře v prostorách TUL, zabývající se zejména měřením průtoku a možnou spoluprací s firmou EESA. Právě firma EESA dala podnět k vytvoření návrhu průtokoměrné linky, na které by mohli studenti provádět různá měření vzhledem k výuce některých předmětů, dělat ročníkové práce či inovovat měřicí zařízení.

Požadavky na linku byly takové, aby šlo měřit za zvýšených tlaků kapaliny, rozměry linky by měly být menší, aby se vešla do ne příliš velké laboratoře a aby byla co nejvíce automatizována. Provozní kapalina je zvolena obyčejná pitná voda, u které není problém jí sehnat. Většina průtokoměrů je též kalibrována pomocí vody, takže nebude nutný přepočít pro jiný druh kapaliny. Provozní teplota vody nebyla specifikována, a tak je linka navržena pro teplotu shodnou s teplotou okolního vzduchu.

²⁸LOJEK, Libor. *Konfirmace zkušebního zařízení pro měření průtoku* [online]. Brno : Český metrologický institut, [2007] [cit. 2011-03-08]. 15 s. Dostupné z WWW: <www.cmi.cz>

Prvním krokem k návrhu průtokoměrné linky bylo načerpat dostatečné informace ohledně průtokoměrných linek. Bohužel se příliš odborné literatury tímto tématem nezabývá. Proto byla domluvena konzultace s odborníky z firmy EESA v Lomnici a ENBRA v Brně. Odborníci z obou firem byli velice přívětiví a podělili se o své „know how“, jelikož prý chtějí vzbudit u mladých lidí zájem o tuto oblast, protože odborníků z oblasti měření průtoku kapalin ubývá. Po prostudování odborné literatury a po konzultacích s odborníky se již realizoval návrh průtokoměrné linky. v potaz byly brány i potřebné úkony k dosažení správnosti naměřené hodnoty. Vytvořeny jsou dva návrhy možných linek, z nichž druhý návrh je vybrán jako lepší, a proto je technická dokumentace pouze pro druhý návrh. Následně zde jsou popsány oba návrhy.



Obr. 5. První návrh průtokoměrné linky

První návrh průtokoměrné linky je založen na principu oběhové kalibrace. Tato možnost byla zvolena z důvodů možnosti měření při různých tlacích. Jelikož je jako provozní kapalina vybrána pitná voda, celá linka je připojena k vodovodnímu řádu. Tím se linka nejen naplní pitnou vodou, ale také se natlakuje. Tlak vodovodního řádu je závislý na městském rozvodu potrubí a výšce umístění výpustního kohoutu. Všeobecně však nesmí přetlak řádu převýšit tlak 6 bar, v odůvodněných případech však může být přetlak i 7 bar. Minimální možný tlak se v řádu smí pohybovat na hranici 1,5 bar pro zástavby do 2 nadzemních podlaží a nad 2 podlaží musí být minimální tlak alespoň 2,5 bar.²⁹ i kdyby se průtokoměrná linka nacházela v přízemí, bude zajištěno

²⁹ Česko. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In *Právní normy Ministerstva zemědělství*. 2002, část 7, s. §15.

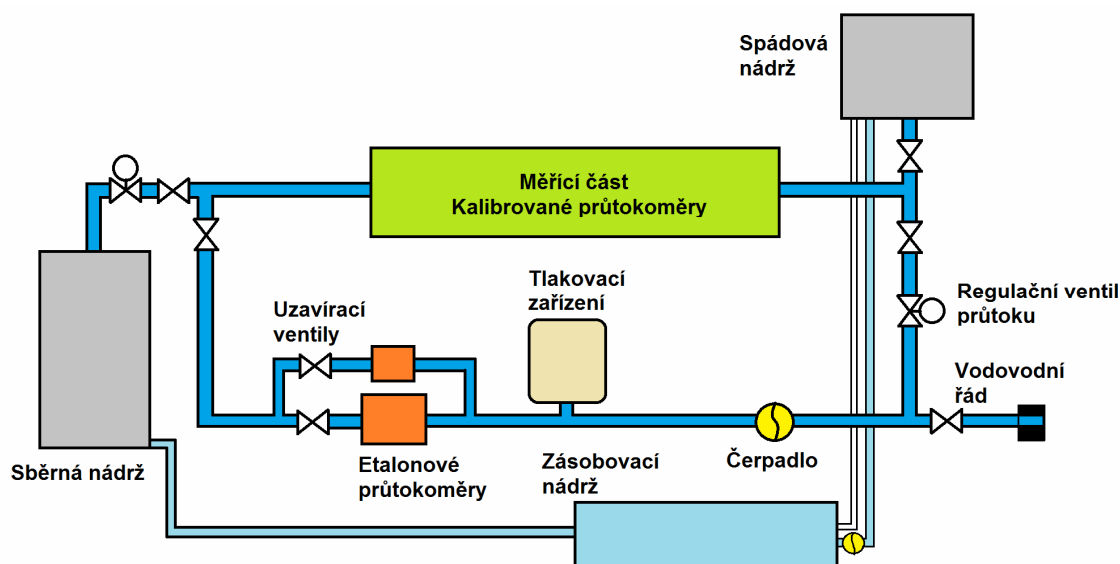
prvotní natlakování na minimálně 1,5 bar. Případné zmenšení tlaku v lince lze dosáhnout pomalým odpouštěním části kapaliny. Pro požadavky vyššího tlaku je v lince nainstalována tlaková nádoba. Po napuštění celé linky provozní kapalinou se tlaková nádoba natlakuje pomocí kompresoru na předem požadovaný tlak. Jedná se o tlakovou nádobu firmy CIMM o oběmu 50L. Dimenze připojení je 1“, která dokáže vytvořit maximální tlak 10 bar. Za tlakovou nádobou jsou umístěny dva etalonové průtokoměry. Jeden o světlosti DN 40 a druhý o DN 20. Jedná se o indukční průtokoměry od firmy EESA, a tudíž musí být občas kontrolována vodivost vody, která se však u pitné vody pohybuje většinou kolem 200 – 400 $\mu\text{S} / \text{cm}$, což několikanásobně převyšuje hraniční konduktivitu pro indukční průtokoměry, která je 5 $\mu\text{S} / \text{cm}$. Hlavní etalon o průměru DN 40 je umístěn v hlavní přímé větvi a vedlejší etalon DN 20 je k němu připojen navařenou odbočkou. Jak je zřejmé, větší slouží k měření větších průtoků a menší k měření malých průtoků. Za etalonovými průtokoměry jsou umístěny elektromagnetické ventily, které určují, jestli půjde průtok přes hlavní či vedlejší etalon. Ventily byly vybrány od firmy Fluidtechnik Bohemia. Jedná se o nuceně řízený sedlový ventil s membránou v přírubovém provedení, typové řady 27. Ovládání obsluhuje elektromagnet ovládaný napětím 24 V DC při maximálním příkonu 30 W. Schopný je pracovat až do tlaku 16 bar.

Za těmito ventily končí etalonová část a potrubí linky směřuje k měrné části, která je navrhnutá pro testování několika průtokoměrů najednou. Jsou zde měřeny nejen vlastnosti průtokoměrů, ale i tlak a teplota. Pro snímání tlaku a teploty jsou do potrubí vyvrtány otvory s příslušnými závity pro umístění snímačů. v měřicí části je umístěno zařízení, kterým se stlačí jednotlivé průtokoměry s redukčními trubkami k sobě a tím se utěsní měřicí část a zabráni se úniku kapaliny. Z obou stran mechanického zařízení jsou ještě umístěny jednoduché uzavírací ventily, např. přírubové ventily firmy Armaturen, modelové řady ARI-FABA-Plus. Ty slouží k případné výměně měřených průtokoměrů, aby se nemusela vypouštět všechna kapalina z linky.

Na konci měřicí části je umístěno průhledítko. Tím se opticky kontroluje přítomnost plynné fáze v kapalině. Aby se plynná fáze dostala z kapaliny co nejrychleji, je celá linka navrhnutá v mírném stoupání. Stoupání zajistí, že případné vzduchové bubliny budou stoupat do nejvyššího bodu průtokoměrné linky, kde je proto umístěn manuální vypouštěcí ventil, kterým se případný nahromaděný vzduch vypustí. Při vypuštění přebytečného vzduchu může dojít k nežádoucímu poklesu tlaku v lince, který však můžeme znovu nastavit v tlakové nádobě, či dopuštěním kapaliny. Průhledítko je

také napojeno na regulační ventil typu WF21.40–25. Jde o regulační ventil poháněný elektromotoricky pohonem s označením SQX62. Jeho sestavovací doba je udávána na 35 s. Regulační ventil je předposlední článek v oběhové části, který navazuje na ještě nezmíněné čerpadlo. Vybráno bylo jednofázové přírubové čerpadlo UPS40-180 s konstantními otáčkami od firmy Grundfos. Maximální možný průtok je na síťovou frekvenci a napětí schopno vytvořit $23 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Čerpadlo je ovládáno frekvenčním měničem z řady AQUA Drive firmy Danfoss. Je přímo určen pro ovládání čerpadel a k použití ve vodohospodářských aplikacích. Samotný měnič je řízen pomocí řídicí jednotky. Nastavování průtoku pouze čerpadlem je příliš hrubé a ne příliš přesné, a proto jej lze případně doladit již zmíněným regulačním ventilem.



Obr. 6. Druhý návrh průtokoměrné linky

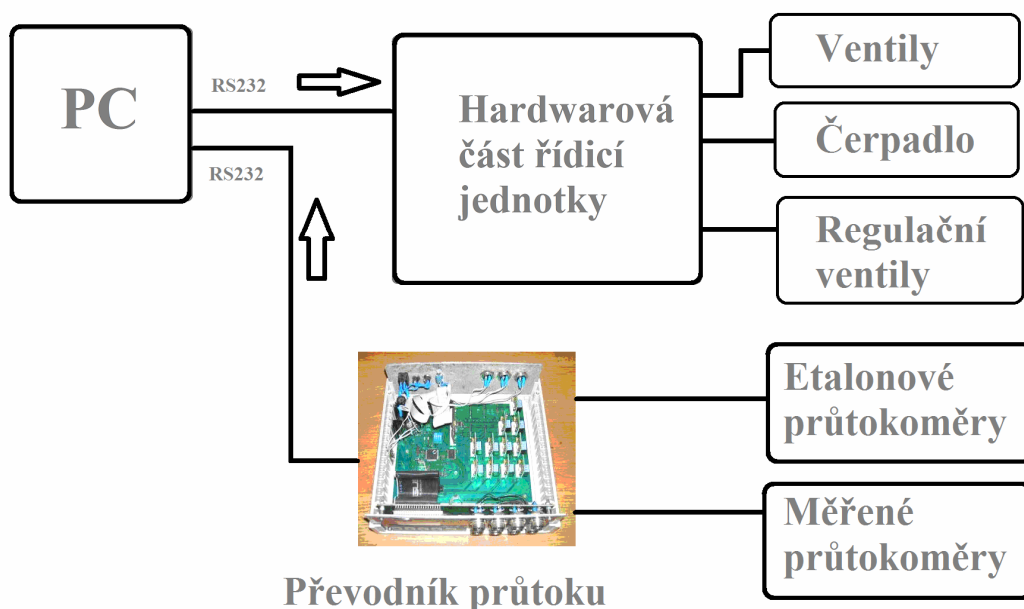
Druhý návrh vznikl z prvního návrhu přidáním možnosti měření pomocí dynamického vážení kapaliny. Dynamickým vážením lze měřit velmi malé průtoky, které nejde pomocí oběhového měření měřit s požadovanou přesností, nemluvě o nastavení čerpadla na velmi malý průtok. v případě, že takto malý průtok bude vytvořen, vzniklé vibrace od čerpadla velmi ovlivní naměřené hodnoty všech průtokoměrů. Průtokoměrná linka je tedy doplněna o spádovou, sběrnou a zásobní nádrž. Sběrná a spádová nádrž jsou připojeny k měřicí části, kde je díky mírnému stoupání oběhové části zajištěn požadovaný pohyb kapaliny. Nevýhodou to má v tom, že je potřeba při dynamickém měření potřeba otočit měřené průtokoměry. Některé průtokoměry by totiž nedokázaly správně vyhodnotit takto obrácený průtok, v lepším

případě by jej ukazovaly se záporným znaménkem. Stálou výšku hladiny ve spádové nádrži obstarává jednoduché čerpadlo, např. jednofázové čerpadlo 40-NTV-48-11LM od firmy Sigma. Velikost průtoku se nastavuje mírou otevření dalšího regulačního ventilu, který je umístěn před sběrnou nádrží. Potřeba bylo umístit i další dva elektromagnetické ventily, které zajišťují oddělení spádové a oběhové části linky.

Vytvořená technická dokumentace je vzhledem k množství výkresů umístěna do příloh.

5 Řídicí jednotka

Řízení průtokoměrné linky spočívá především ve správném nastavení průtoku, ale i ve sběru dat z etalonových a měřených průtokoměrů. K řízení průtoku a ke sběru dat slouží řídicí jednotka, která se skládá z hardwarové a softwarové části. Pomocí těchto částí ovládá uzavírací ventily, regulační ventily a frekvenční měnič obsluhující čerpadlo. Celá řídicí jednotka se měla vyrobit a poté otestovat její funkčnost. Bohužel se během vypracovávání bakalářské práce dostala firma EESA do finančních potíží, která jako spolu zadavatel práce měla výrobu řídicí jednotky financovat, a proto se hardwarová část pouze navrhla a již nerealizovala.

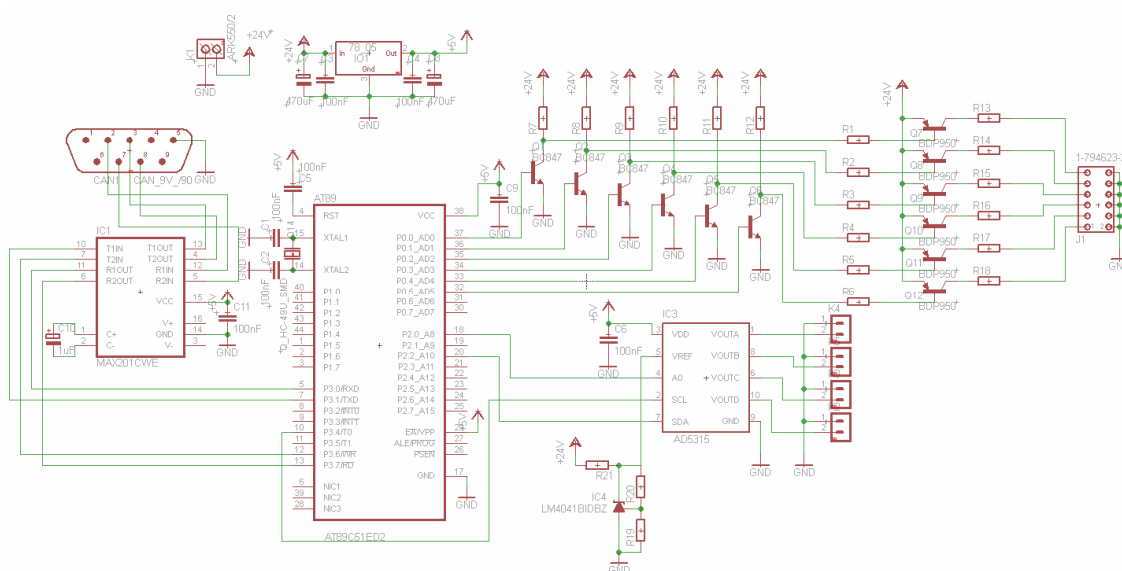


Obr. 7. Princip činnosti řídicí jednotky

5.1 Hardwarová část jednotky

Hardwarová část řídicí jednotky podle požadavků softwarové části nastaví požadovaný průtok a otevře či zavře požadované ventily. Stará se i o míru otevření regulačních ventilů. Komunikace hardwaru s PC je realizována pomocí sériového portu RS232, který má však logické úrovně diametrálně odlišné od logických úrovní TTL. Napětí pro log 1 u standardu RS232 je - 12 V a pro log 0 je napětí + 12 V, což je

neslučitelné s úrovněmi TTL, které má úroveň napětí + 5 V pro log 1, resp. 0 V pro log 0. Proto je signál nejdříve převeden integrovaným obvodem MAX232 na signál logických úrovní odpovídajících TTL. Výhodou IO MAX232 je možnost zpětné konverze signálu TTL na RS232. Hlavním prvkem navrženého obvodu je mikrokontroler AT89C51ED2 od firmy Atmel. Jedná se o hojně využívaný výkonný 8bitový mikrokontroler s vnitřní pamětí 64 kB, který je v pouzdře VQFP44. Mikročip přijímá přes IO MAX232 data od SW části a podle nich nastaví požadovaný průtok a požadované ventily. Čerpadlo je řízeno frekvenčním měničem, který je ovládán analogovým vstupem 0 – 10 V. Toto napětí je vytvářeno DA převodníkem připojeným k mikrokontroleru, stejně jako tranzistorové spínače, které ovládají ventily.



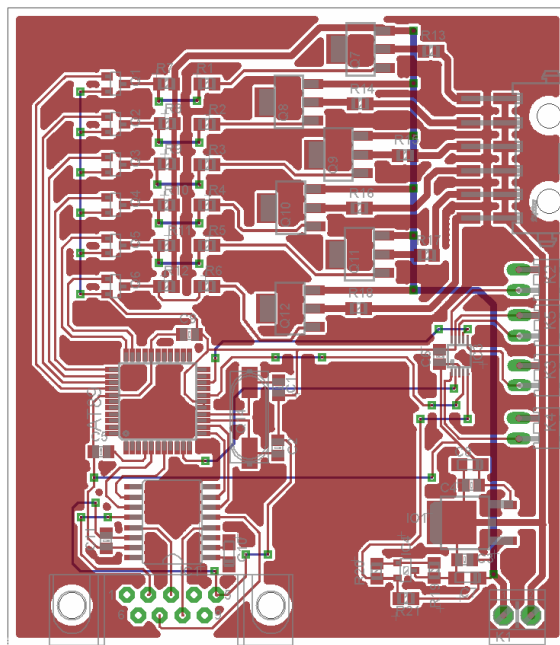
Obr. 8. Schéma HW části řídicí jednotky

Vybrán byl čtyř kanálový 10 bitový DA převodník AD5315 firmy Analog device. Převodník přijímá sériová data, podle kterých nastaví požadované výstupní napětí na požadovaný napěťový výstup. První kanál je určen pro nastavení napětí pro frekvenční měnič ovládající čerpadlo. Druhý a třetí kanál slouží k nastavení napětí pro regulační ventily pro oběhové měření a dynamické vážení. Čtvrtý kanál zůstává nevyužit a má spíše rezervní účel, ovšem v budoucnu je možné jej plnohodnotně využít pro různé potřeby. Napětí z jednotlivých kanálů jsou připojena ke konektorům K2 až K5. DA převodník potřebuje k vytvoření napětí 0 – 10 V zdroj referenčního napětí 10 V. Prvotní volbou pro tvorbu referenčního napětí byl obvod typu 78xx, ovšem vzhledem k jeho nestálé výstupní hodnotě napětí byl vybrán obvod LM4041. Jedná se o obvod,

který vytváří velmi přesnou napěťovou referenci 1,225 V. k docílení napětí 10 V je potřeba k obvodu doplnit kombinaci odporů, kterou se docílí zvýšení napětí na požadovanou hodnotu.

Tranzistorové spínače sloužící k spínání elektromagnetických ventilů jsou tvořeny kombinací jednoho tranzistoru typu NPN a jednoho typu PNP. Takto kombinovaný tranzistorový spínač nahradil kvůli bezpečnosti původní Darlingtonovo zapojení tranzistorů. Kdyby totiž došlo k poruše a připojení konektoru ventilů by se porušilo, u Darlingtonova zapojení by mohlo dojít k samovolnému sepnutí. Proto byl ke spínání použit výkonový PNP tranzistor BDP950, který je spínán NPN tranzistorem BC847, který je připojen a spínán mikrokontrolerem. Těchto tranzistorových spínačů je v obvodu umístěno 6, pro každý ventil jeden spínač.

K hlavnímu napájení je potřeba zajistit napětí + 24 V, které je přivedeno na oba tranzistorové spínače. Na toto napětí jsou také připojeny obvody LM4041 a 7805. Integrovaný obvod 7805 slouží k vytvoření napájecího napětí + 5 V pro mikrokontroler, DA převodník a pro obvod MAX232. Kompletní schéma je ukázáno na obr. 8.



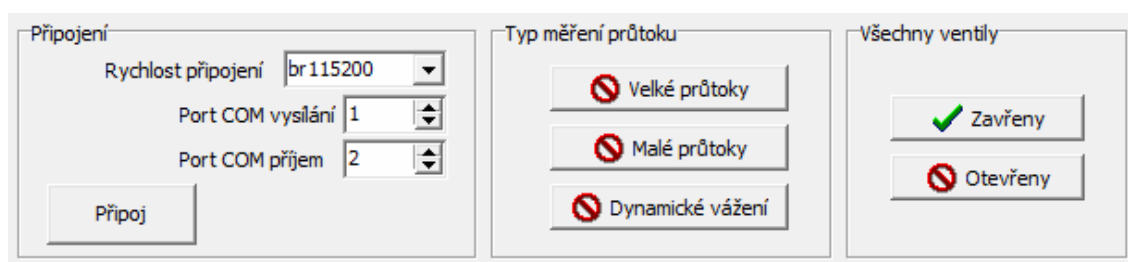
Obr. 9. Návrh DPS (měřítko 1:1)

Kompletně celá HW část je navrhnutá v programu Eagle. Použité součástky byly brány s ohledem na jejich dostupnost, a aby byly dostupné i ve formě SMD. Z navrhnutého schéma se poté vytvořil návrh DPS o rozměrech desky 70 x 80 mm (obr. 9.).

5.2 Softwarová část jednotky

Softwarová část jednotky slouží ke snadnému nastavení průtoku a sbírání informací z používaných průtokoměrů. Jako programovacího prostředí bylo vzhledem ke zkušenostem a k výuce několika předmětů v bakalářském studiu vybráno volně dostupné Delphi 7, které využívá programovací jazyk Pascal. Vytvořený program využívá ke komunikaci dva sériové porty RS232. Jeden port je využit ke komunikaci s HW částí řídicí jednotky a druhý port je použit ke sběru informací z používaných průtokoměrů. Prostedí Delphi 7 neobsahuje v základní verzi komponenty ke komunikaci přes RS232, a tak bylo potřeba z internetu získat volně dostupnou komponentu Vacomm. Tato komponenta je určena k ovládání sériových portů od COM1 do COM9 s přenosovými rychlostmi od 110 bd do 256000 bd.

Vytvořený program je vizuálně rozdělen na sekce, z nichž každá má vlastní popisek, aby bylo přehledné, o co se daná sekce stará. Sekce Připojení (obr. 10.) se zabývá nastavením připojení k požadovaným sériovým portům. Nastavují se čísla portů, prvního sloužícího k odesílání informací HW části a druhého sloužícího k přijímání informací od průtokoměrů a také požadovaná přenosová rychlost. Po nastavení se stiskem tlačítka Připojit požadované parametry nastaví do komponent Vacomm a sériový port určený k odesílání konfigurace HW části se otevře. Druhý port je zatím stále uzavřen, protože k jeho otevření se aktivuje až v jiný okamžik.



Obr. 10. Řídicí program: Připojení a ovládání ventilů

Sekce s názvy Typ měření průtoku a Všechny ventily, slouží k obsluze elektromagnetických ventilů. Podle požadovaného způsobu měření se stiskem příslušného tlačítka aktivují jednotlivé ventily, obsluhující danou část průtokoměrné linky. Tlačítka Zavřeny a Otevřeny slouží k uzavření nebo otevření všech ventilů v lince. Možnost uzavřít všechny ventily se využije např. při výměně měřených průtokoměrů, aby se nemusela vypouštět kapalina z linky jen kvůli výměně měřidel. Pro vypuštění kapaliny z linky je zase vhodné mít všechny ventily otevřené.

Obr. 11. Řídicí program: Nastavení průtoku a regulačního ventilu

Pro nastavení požadovaného průtoku, jenž má vytvořit čerpadlo je určena stejnojmenná sekce (obr. 11.). Posuvnou lištou se nastaví hodnota průtoku, která je číselně zobrazena v přilehlé komponentě Edit. Maximální možný průtok je závislý na vybraném čerpadlu, které dokáže vytvořit maximálně průtok $24 \text{ m}^3/\text{hod}$, ovšem doplněné o frekvenční měnič dokáže vytvořit i průtok větší. Proto je maximální hodnota nastavena na $30 \text{ m}^3/\text{hod}$. Jelikož jsou v HW části použity 10bitové převodníky, je k dispozici 1024 různých hodnot, na které lze maximální průtok rozdělit. v podsekcí Jednotky průtoku je možnost výběru požadovaných jednotek průtoku, které jsou brány jako výchozí pro zbytek programu.

Hodnotu průtoku je také možné regulovat velikostí otevření regulačního ventilu. To lze provést v sekci Ovládání regulačního ventilu, kde se též číselně zobrazuje procentuální otevření ventilu. Linka obsahuje dva regulační ventily. Posuvným šoupátkem se však nastaví jen jedna hodnota, která se následně podle typu měření nastaví pro ten či onen škrtkový ventil. Pro vizualizaci jsou umístěny dvě komponenty CheckBox, které zaškrtnutím zobrazují aktuálně nastavovaný regulační ventil.

Všechny hodnoty, jak velikosti průtoku, otevření regulačního ventilu a nastavení zbylých ventilů se odešlou přes sériový port HW části stiskem tlačítka Spustit. Tlačítko Zastavit vyše HW části hodnoty odpovídající nulovému průtoku a zavření všech ventilů. Tím dojde k zastavení průtoku. Informace se nepřemazávají, proto je možné s ohledem na použitý HW ihned po zastavení opakovaně spustit průtok ať s jinými či stejnými parametry. Při spuštění průtoku s uzavřenými nebo otevřenými ventily se před samotným spuštěním ukáže varování, které se dotazuje, zda-li je takové to měření

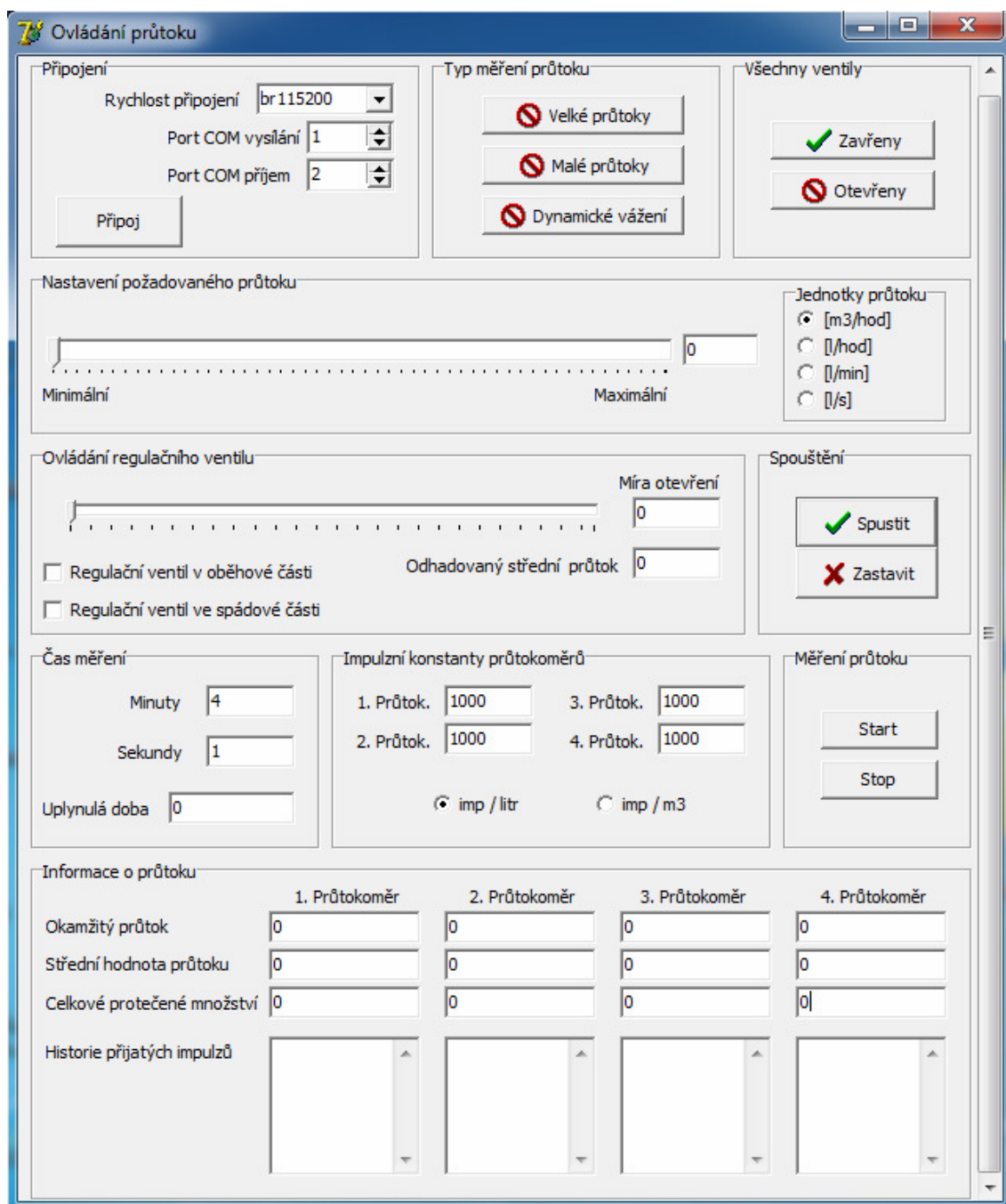
záměrné. Mohlo by se totiž například stát, že by nechtěným otevřením všech ventilů a spuštěním čerpadla došlo k vypuštění veškeré vody a chodu čerpadla na sucho, a tím dojít k jeho zničení. v budoucnu však může být tato možnost z jakýchkoliv důvodů chtěná, a proto nebyla úplně vyloučena, pouze se na ní upozorňuje.

Zbývající sekce se již nezabývají nastavením průtoku. v prvních dvou se nastaví doba, po kterou bude probíhat sbírání informací o průtoku, a také impulsní konstanty použitých průtokoměrů. Rozlišení doby měření je pouze na minuty a sekundy. Měření v řádu několika hodin se neuvažovalo, ovšem není ani vyloučené, jen je potřeba přepočítat množství požadovaných hodin na minuty a sekundy. v příslušném Editu se pro kontrolu měření ukazuje uplynulý čas. Nastavení impulsních konstant je velice důležité pro správné vyhodnocení průtoku z přijímaných dat. Jak je vidět z obr. 12, měřit lze najednou až čtyři průtokoměry, u nich lze zadávat konstanty v impulzech na litr nebo impulzech na metr krychlový.

Obr. 12. Řídicí program: Nastavení času měření, impulzních konstant a přijímání dat

Po nastavení doby měření a impulsních konstant lze zahájit měření tlačítkem Start. Po jeho stisku se otevře zatím zavřený druhý sériový port, který byl již nastaven na začátku. Stiskem tlačítka Stop je možné měření kdykoliv ukončit, i když ještě neuplynul požadovaný čas.

Jakmile dojde k otevření druhého portu, začnou se přijímat data z průtokoměrů. Jednotlivé impulzy se zaznamenávají do komponenty Memo, která slouží k zobrazení historie přijatých pulzů. Z těchto přijatých impulzů se pro každý příslušný průtokoměr vypočítává střední a okamžitá hodnota průtoku a celkové protečené množství. Uváděné jednotky průtoků se vztahují k volbě jednotek v sekci Nastavení požadovaného průtoku. Na obr. 13. je pak možné vidět kompletní podobu vytvořeného programu.



Obr. 13. Kompletní podoba řídicího programu

5.3 Simulace

Jak již bylo řečeno, HW část jednotky se z finančních důvodů nerealizovala. To však nebránilo k otestování SW části. Testovalo se jednak odesílání nastavení požadovaného průtoku včetně nastavení ventilů, též se testovalo přijímání informací o průtoku.

Nejdříve se testovalo odesílání informací. Testování probíhalo pomocí dvou PC Vzájemně propojených RS232 kabelem, z nichž na jednom byl umístěn ovládací SW průtoku, a na druhém PC se sledovaly hodnoty přijímaných dat. Přes počáteční komplikace v podobě chybně napsaného zdrojového kódu programu se postupným odstraněním chyb dospělo ke zdárnému výsledku. Po odeslání požadované konfigurace se téměř okamžitě objevila vyslaná data na přijímacím PC a při zkoušení nejruznějších variant nastavení byla vždy přijata shodná data s daty odeslanými.

Informace o průtoku				
	1. Průtokoměr	2. Průtokoměr	3. Průtokoměr	4. Průtokoměr
Okamžitý průtok	3,539 m3/h	3,474 m3/h	3,251 m3/h	3,863 m3/h
Střední hodnota průtoku	3,539 m3/h	53,163 m3/h	44,617 m3/h	48,123 m3/h
Celkové protečené množství	104,515 m3	106,326 m3	89,233 m3	96,246 m3
Historie přijatých impulzů	898 1106 1308 1489 1722 1972	831 1006 1227 1438 1700 1920	817 941 1127 1326 1545 1742	821 966 1161 1332 1585 1784

Obr. 14. Řídicí program: Ukázka vyhodnocení průtoku

Testování vyhodnocení průtoku již neprobíhalo s dalším PC, ale s přípravkem pro simulaci čidel průtoku, který byl dodán firmou EESA. Komunikace s tímto přípravkem je možná po sériové lince nebo pomocí rozhraní USB. Program pro ovládání průtoku je navržen ke komunikaci přes sériový port, a proto byla zvolena možnost připojení po RS232. Po spuštění měření se začaly načítat impulzy, které se programem převedly na hodnotu průtoku. Načítané impulzy se přijímaly bez chyb, a proto bylo vyjádření průtoku ovlivněno pouze zaokrouhlovací chybou programu. Při přijímání dat bylo pozorováno zpoždění vyhodnocení průtoku. Průměrně se jednalo o zpoždění v řádu ± 1 sekundy. Na obr. 14 je ukázka simulace přijímání impulzů a následného vyhodnocení průtoku.

Závěr

K splnění hlavního bodu zadání, návrhu průtokoměrné linky, bylo potřeba nastudovat dostupné informace ohledně měření průtoku a metod kalibrace. Důležité poznatky přineslo také setkání s odborníky z firem EESA a ENBRA, kteří mají s průtokoměrnými linkami letité zkušenosti. Výsledný návrh linky využívá oběhové kalibrace s možností dynamického vážení. Tato varianta byla vybrána především pro možnost pracovat při různém tlaku provozní kapaliny. Pro návrh linky bylo potřeba vybrat jak uzavírací a regulační ventily, tak i frekvenční měnič a čerpadlo. Výsledný návrh je rozkreslen do technických výkresů.

S návrhem průtokoměrné linky měla být také realizována řídicí jednotka, umožňující nastavení požadovaného průtoku linkou. Řídicí jednotka byla rozdělena na softwarovou a hardwarovou část. Řídicí jednotka by mohla nahrazena jednoduchým PLC, ale náklady by byly vyšší než zhotovení navržené hardwarové části.

Schéma a návrh DPS hardwarové části byly vytvořeny v programu Eagle. V návrhu byly použity SMD součástky, díky kterým jsou rozměry DPS menší, než při použití klasických součástek. Tento přípravek se navzdory zadání nerealizoval, jelikož firma EESA, která měla financovat případné náklady spojené s výrobou, se dostala do finančních potíží.

Při realizaci softwarové části vznikl program Ovládání průtoku naprogramovaný v prostředí Delphi 7. Program pomocí sériového portu RS232 zpracovává data přijatá z jednotlivých měřičů a zároveň umožní jejich kalibraci. K testování byl použit simulační přípravek firmy EESA.

Seznam použité literatury

1) Normy a zákony

ČSN EN 24185+AC. *Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech : Vážící metoda.*

Praha : Český normalizační institut, 1993. 27 s. ISO 4185:1980.

Česko. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In *Právní normy Ministerstva zemědělství*. 2002, část 7, s. §15. Dostupný také z WWW: <<http://www-1.sysnet.cz/projects/env.web/zakon.nsf/2a434831dcbe8c3fc12564e900675b1b/4997a17b1d35fa65c1256d64003fd408?OpenDocument>>.

2) Knižní literatura

NUTIL, Jiří. *Měřicí technika v průmyslu: 1 .díl - teplota, tlak, průtok*. [s. l.] : Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1979. 148 s.

ĐAĐO S., BEJČEK L., PLATIL A.: *Měření průtoku a výšky hladiny*, BEN - technická literatura, Praha 2005, 1. vydání, 448s. ISBN80-7300-156-X

ZIMÁK, Václav. *Dynamika pulsujícího průtoku : Teorie, měření, aplikace, zkušenosti*. 1. vydání. PC-DIR spol. s r. o. : Nakladatelství Brno, 1994. 210 s. ISBN 80-85895-00-5.

KAINA, Burkhard. *Elektronika s podporou PC*. 1. české vydání. Ostrava : HEL, 2004. 184 s. ISBN 80-86167-22-4.

PROCHÁZKA, Arnold. *Proudění tekutin potrubím a kanály PC*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 368 s. Typové číslo L 11-B2-IV-41/1348.

NOSKIEVIČ, Jaromír. *Kavitace*. 1. vydání. Praha : Academia, 1969. 280 s.

NOSKIEVIČ, Jaromír, et al. *Mechanika tekutin*. Praha : SNTL, 1987. 356 s.

3) Odkaz na elektronické dokumenty

LOJEK, Libor. *Konfirmace zkušebního zařízení pro měření průtoků* [online]. Brno : Český metrologický institut, [2007] [cit. 2011-03-08]. 15 s. Dostupné z WWW: <www.cmi.cz>

Přednáškové slidy předmětu 1141 HYA (Hydraulika) : Měření průtoků [online]. Praha : ČVUT, FAKULTA STAVEBNÍ, 2008 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/users/matousek/downloads/web_HYA_10_Mereni_prutoku_vm.pdf>

4) Internetové odkazy

<http://fyzika.jreichl.com/index.php>

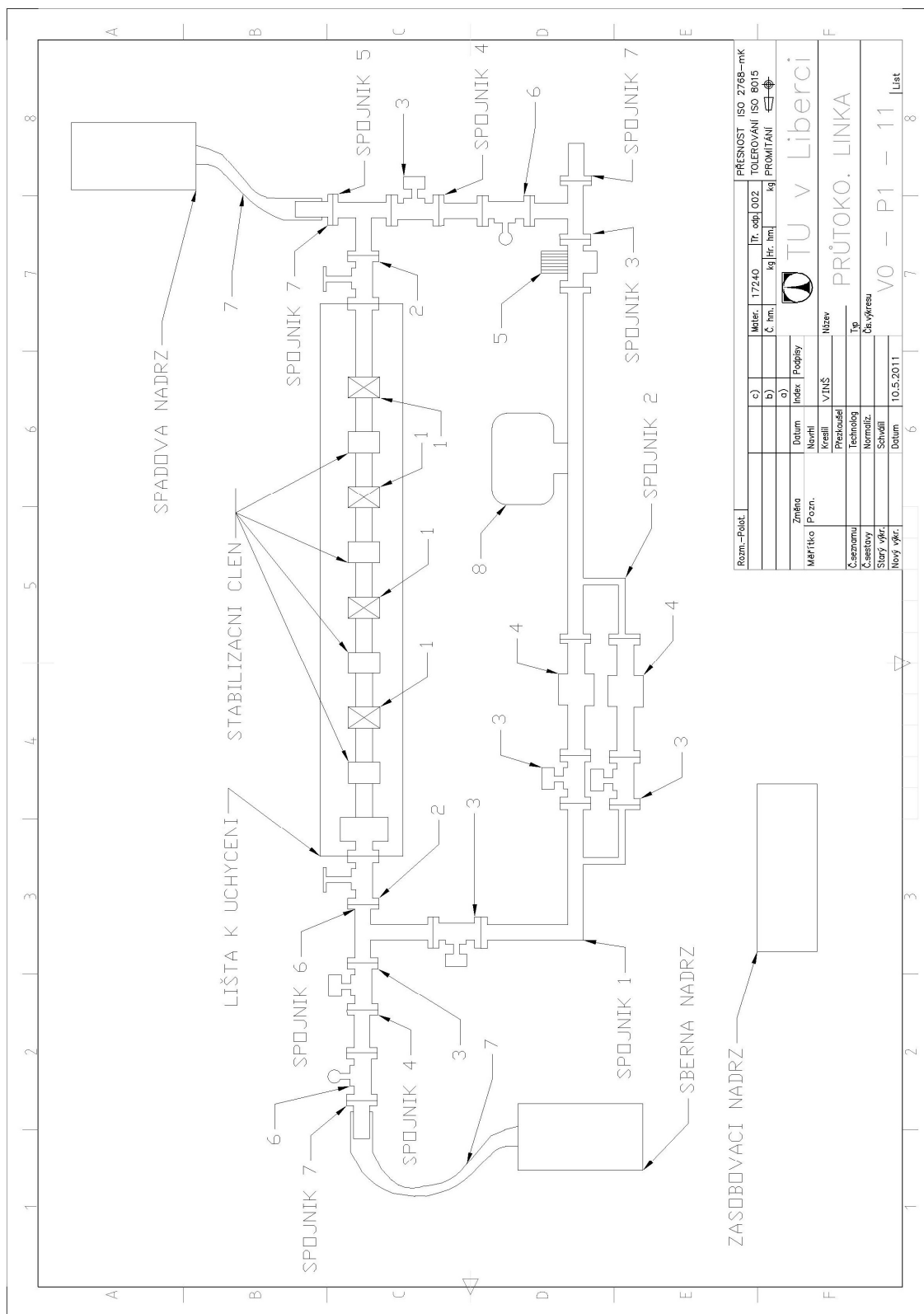
Seznam příloh

Příloha A	Kusovník.....	45
Příloha B	Poziční schéma průtokoměrné linky.....	46
Příloha C	Technický výkres: Spojník 1	47
Příloha D	Technický výkres: Spojník 2	48
Příloha E	Technický výkres: Spojník 3	49
Příloha F	Technický výkres: Spojník 4	50
Příloha G	Technický výkres: Spojník 5	51
Příloha H	Technický výkres: Spojník 6	52
Příloha I	Technický výkres: Spojník 7	53
Příloha J	Technický výkres: Spádová nádrž	54
Příloha K	Technický výkres: Sběrná nádrž.....	55
Příloha L	Technický výkres: Zásobovací nádrž	56
Příloha M	Technický výkres: Lišta k uchycení	57
Příloha N	Technický výkres: Stabilizační člen	58

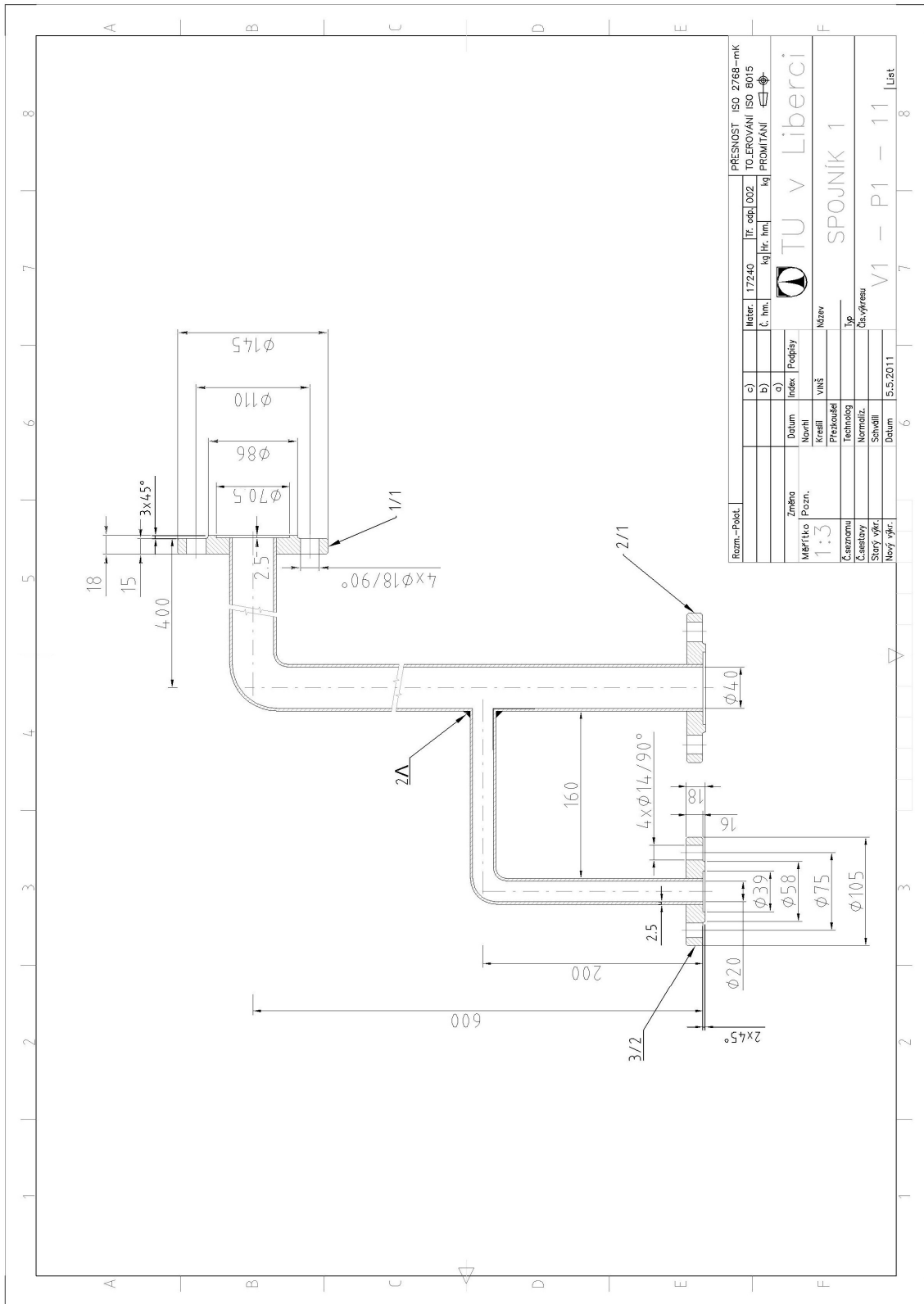
Příloha A Kusovník

Pozice	Číslo výkresu	počet kusů
1	Měřené průtokoměry	
2	Manuální ventil	2
3	Elektromagnetický ventil	6
4	Etalonový průtokoměr	2
5	Čerpadlo	2
6	Regulační ventil	2
7	Hadice DN40 x 3m	5
8	Tlakovací nádoba	1
Spojnik 1	V1 - P1 - 11	1
Spojnik 2	V2 - P1 - 11	1
Spojnik 3	V3 - P1 - 11	1
Spojnik 4	V4 - P1 - 11	2
Spojnik 5	V5 - P1 - 11	1
Spojnik 6	V6 - P1 - 11	1
Spojnik 7	V7 - P1 - 11	11
Spadova nadrz	V10 - P1 - 11	1
Sberna nadrz	V11 - P1 - 11	1
Zasobovací nadrz	V12 - P1 - 11	1
Stabilizacni clen	V9 - P1 - 11	10
Lista k uchyceni	V8 - P1 - 11	1
Kusovník	Průtokoměrná linka	V0 – P1 – 11

Příloha B Poziční schéma průtokoměrné linky

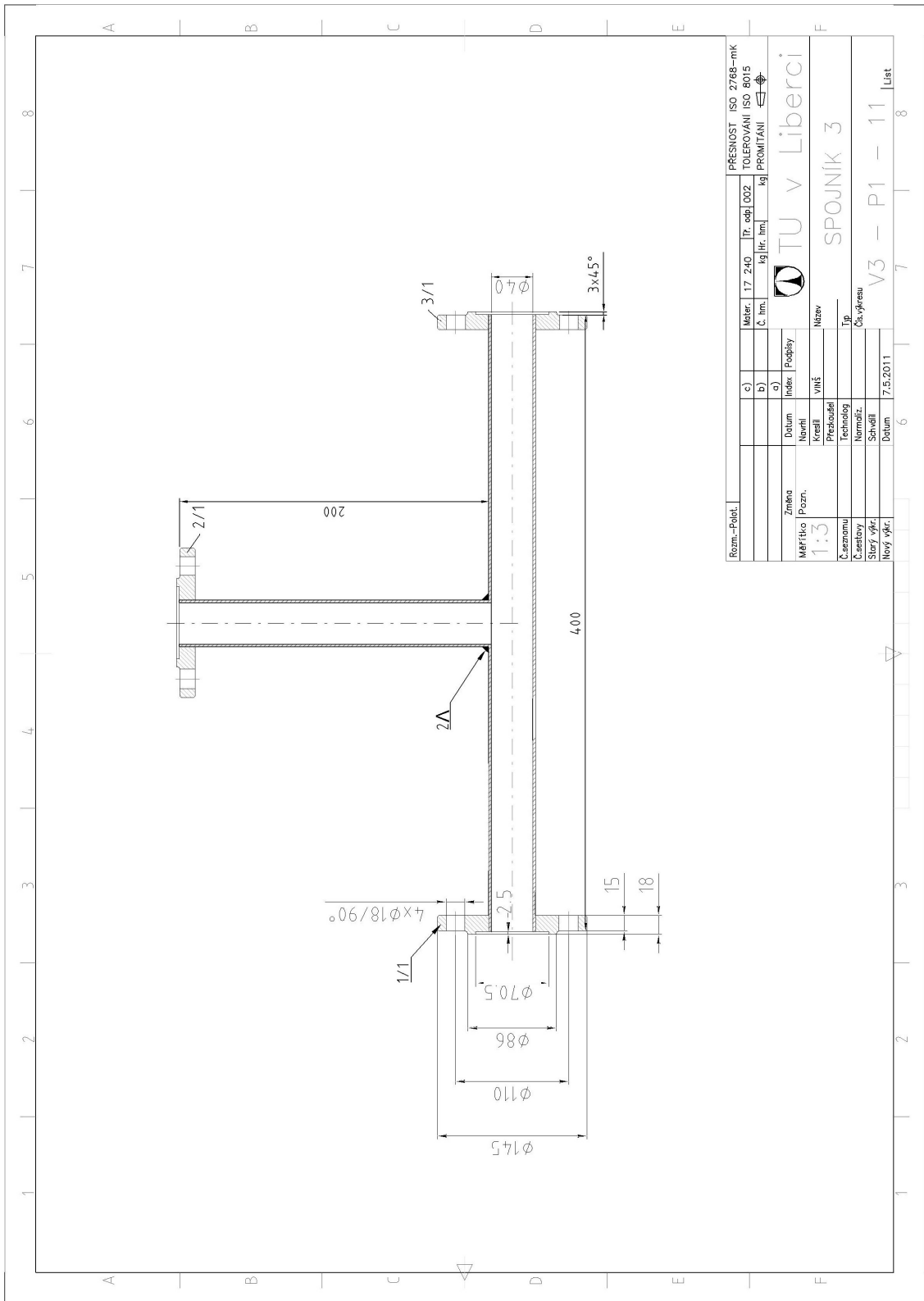


Příloha C Technický výkres: Spojník 1



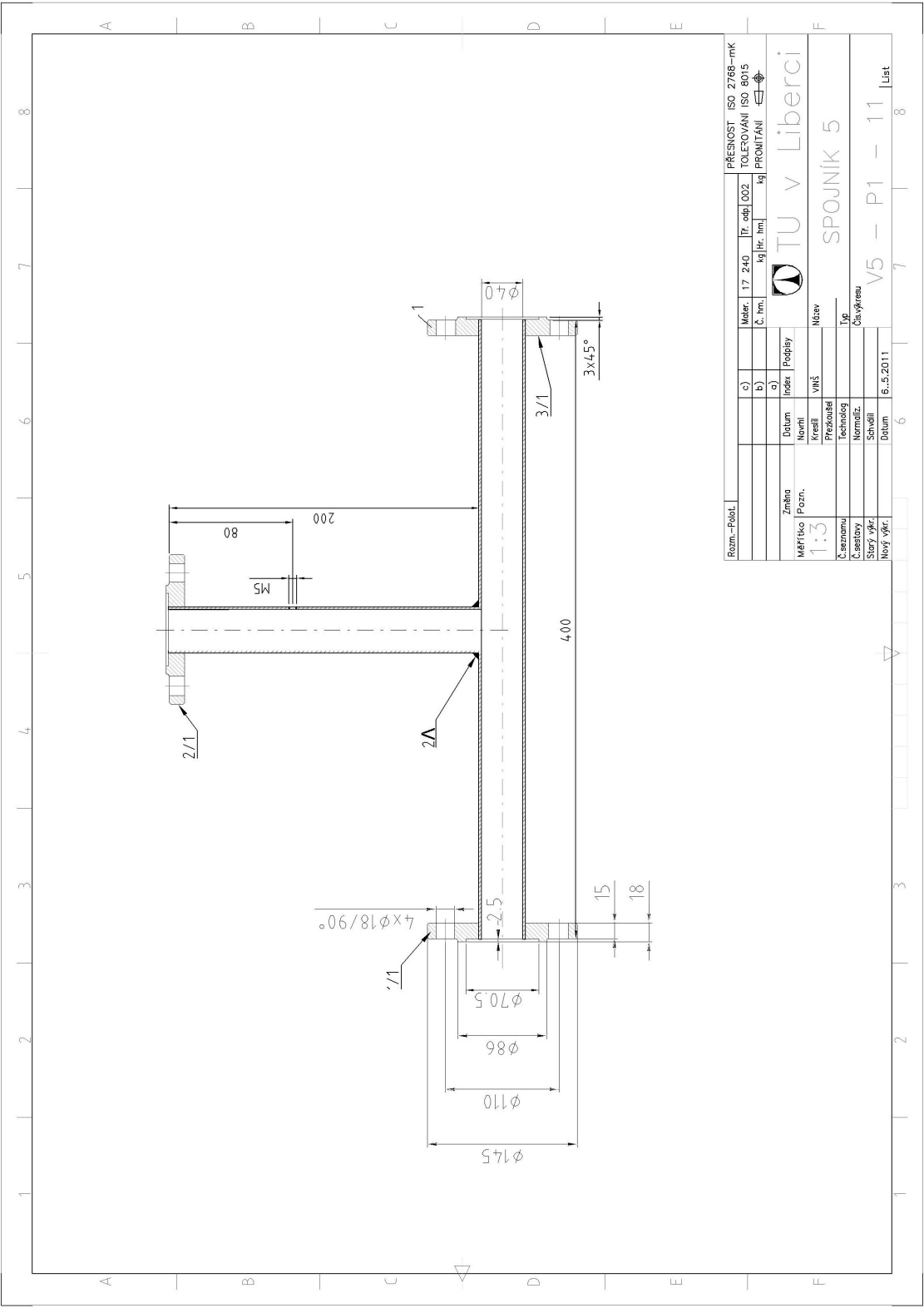
Technical drawing of a mechanical part, likely a bracket or support, showing dimensions and tolerances. The drawing includes a side view and a cross-section view. Key dimensions include overall length 1000, width 160, and various diameters (105, 75, 58, 39, 20, 40, 70.5, 86, 110, 145). Tolerances are specified as 2x45°, 1/2, 1/1, 3/1, and 4x18/90°. The drawing is labeled 'SPOJNÍK 2' and 'V2 - P1 - 11'.

Příloha E Technický výkres: Spojník 3

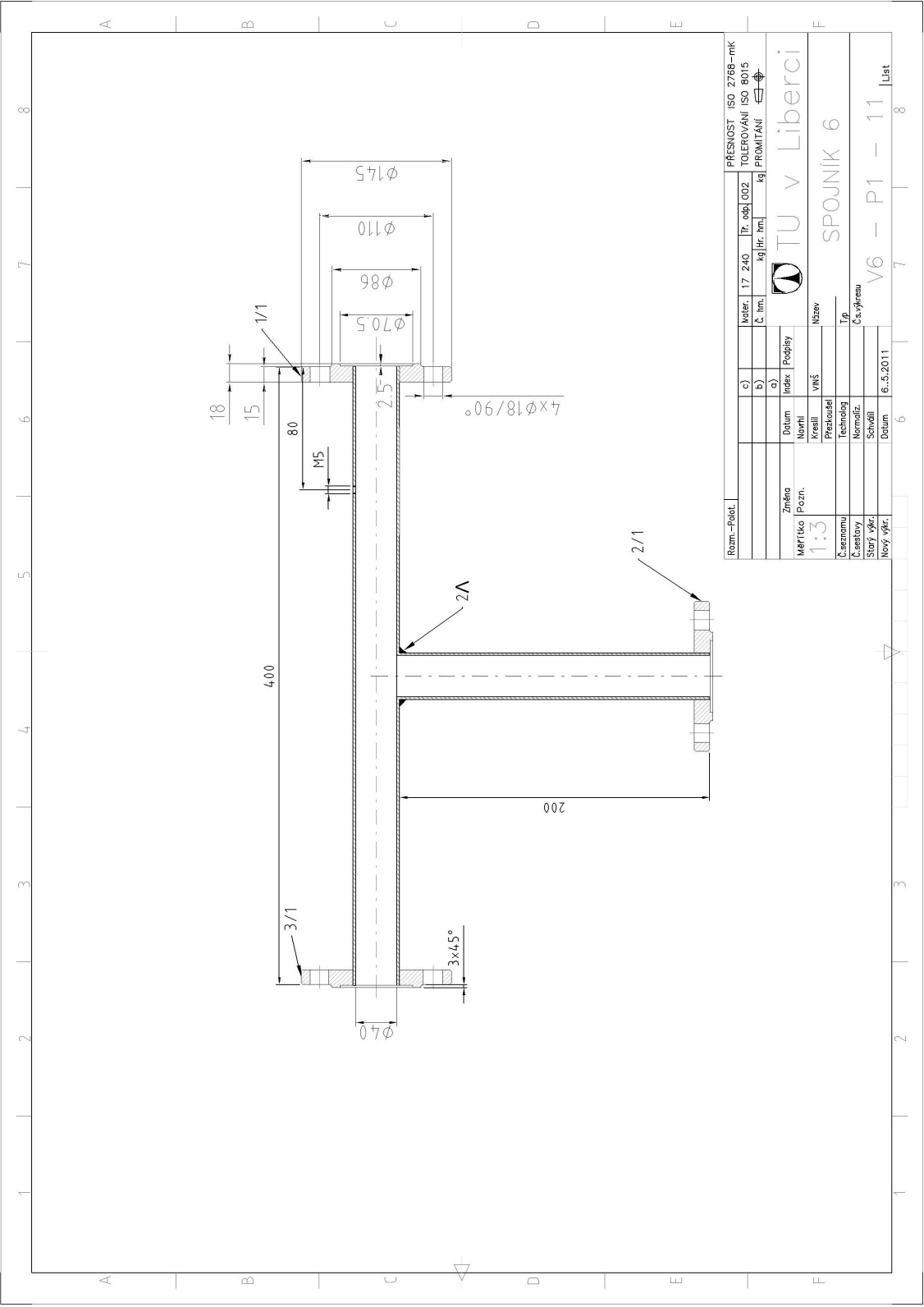


Technical drawing of a mechanical part, likely a coupling (SPOJNÍK 4), showing dimensions and tolerances. The drawing includes a side view and a cross-section view. Key dimensions include diameters of 145, 110, 86, 70.5, and 40 mm, and a length of 200 mm. Tolerances are specified as 1/1 and 2/1. The drawing is labeled 'TU v liberci' and 'SPOJNÍK 4'.

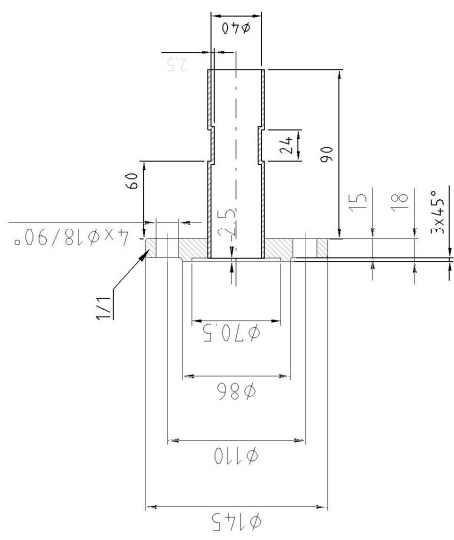
Příloha G Technický výkres: Spojník 5



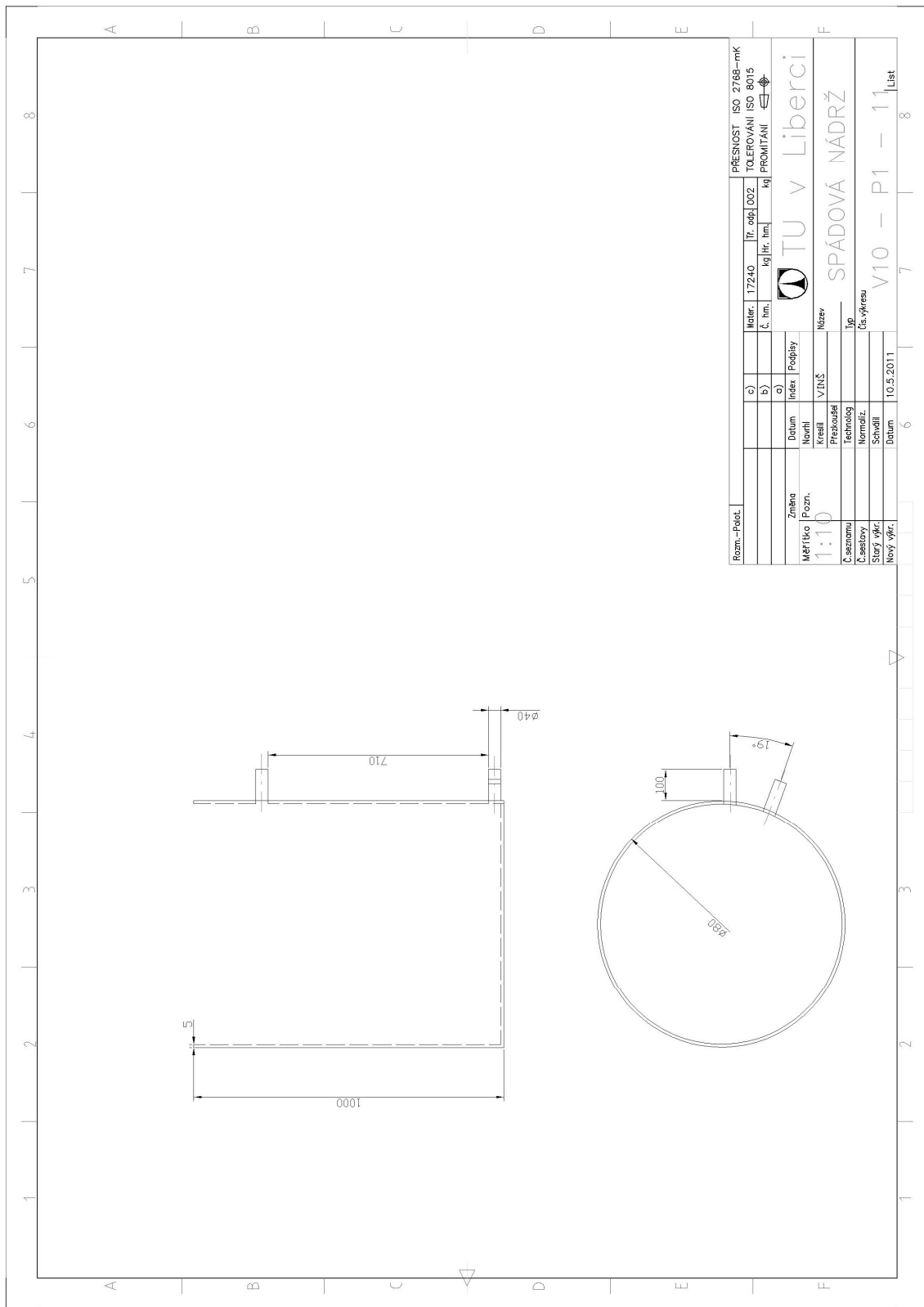
Příloha H Technický výkres: Spojník 6



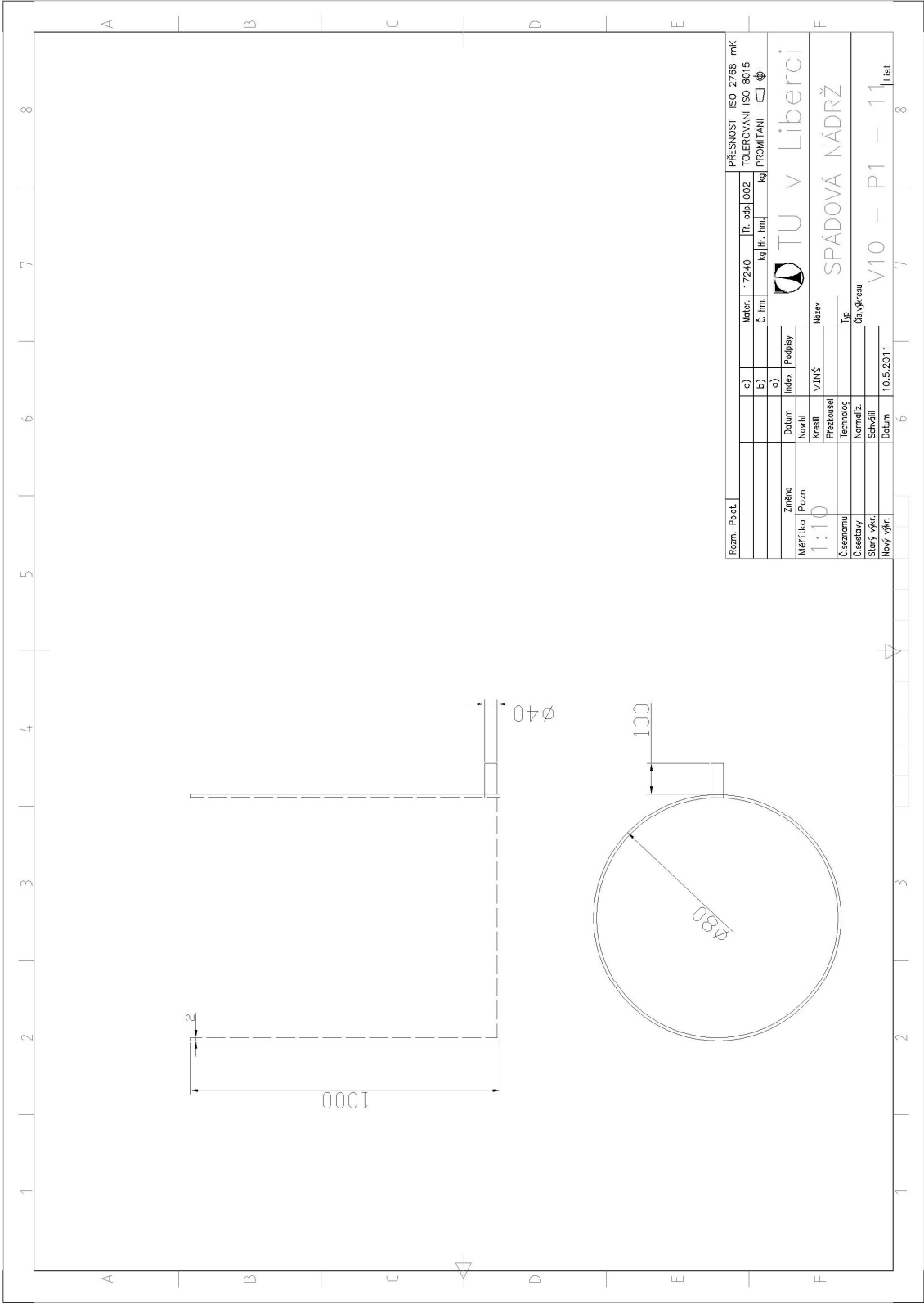
Technický výkres: Spojník 7



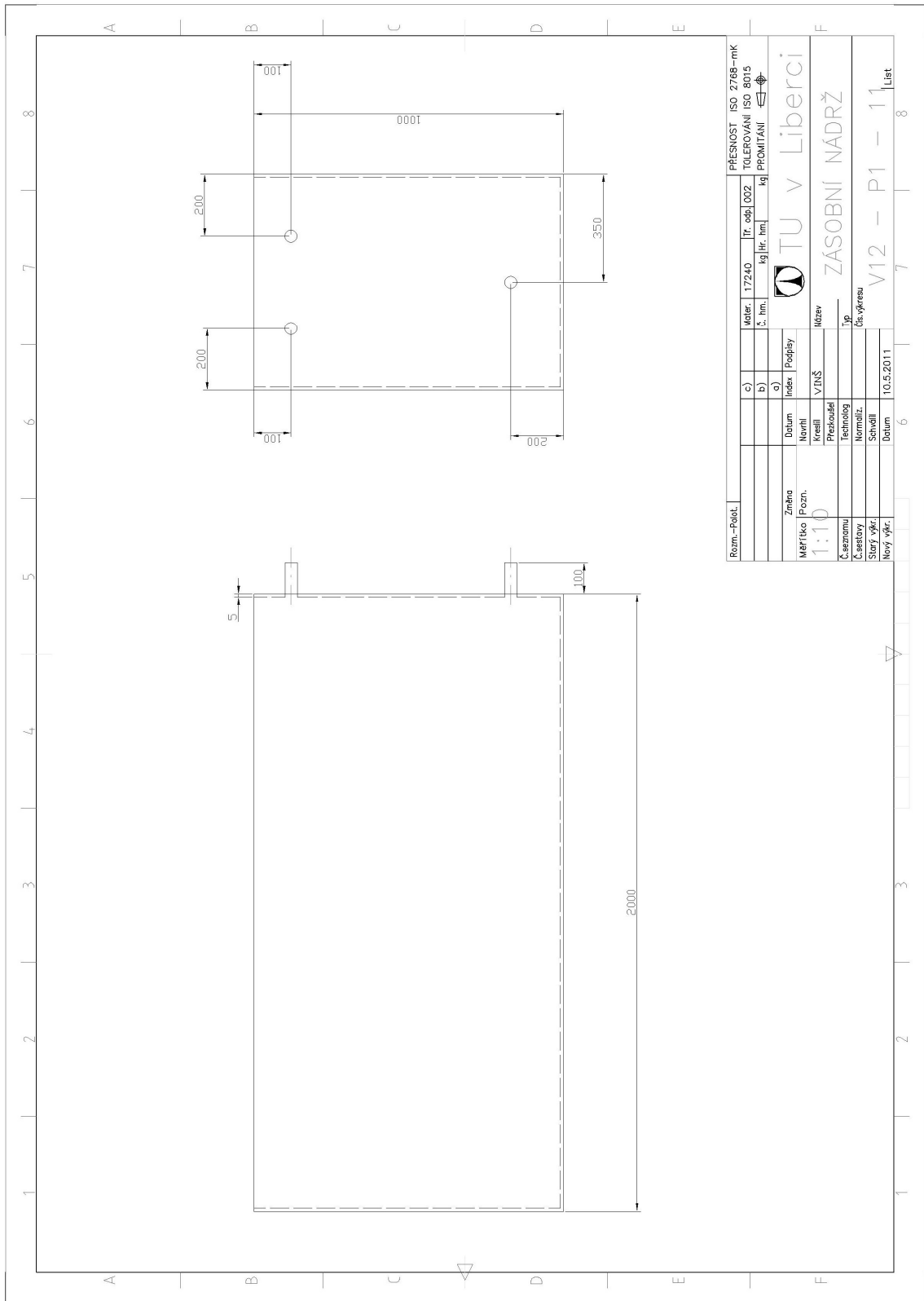
Příloha J Technický výkres: Spádová nádrž



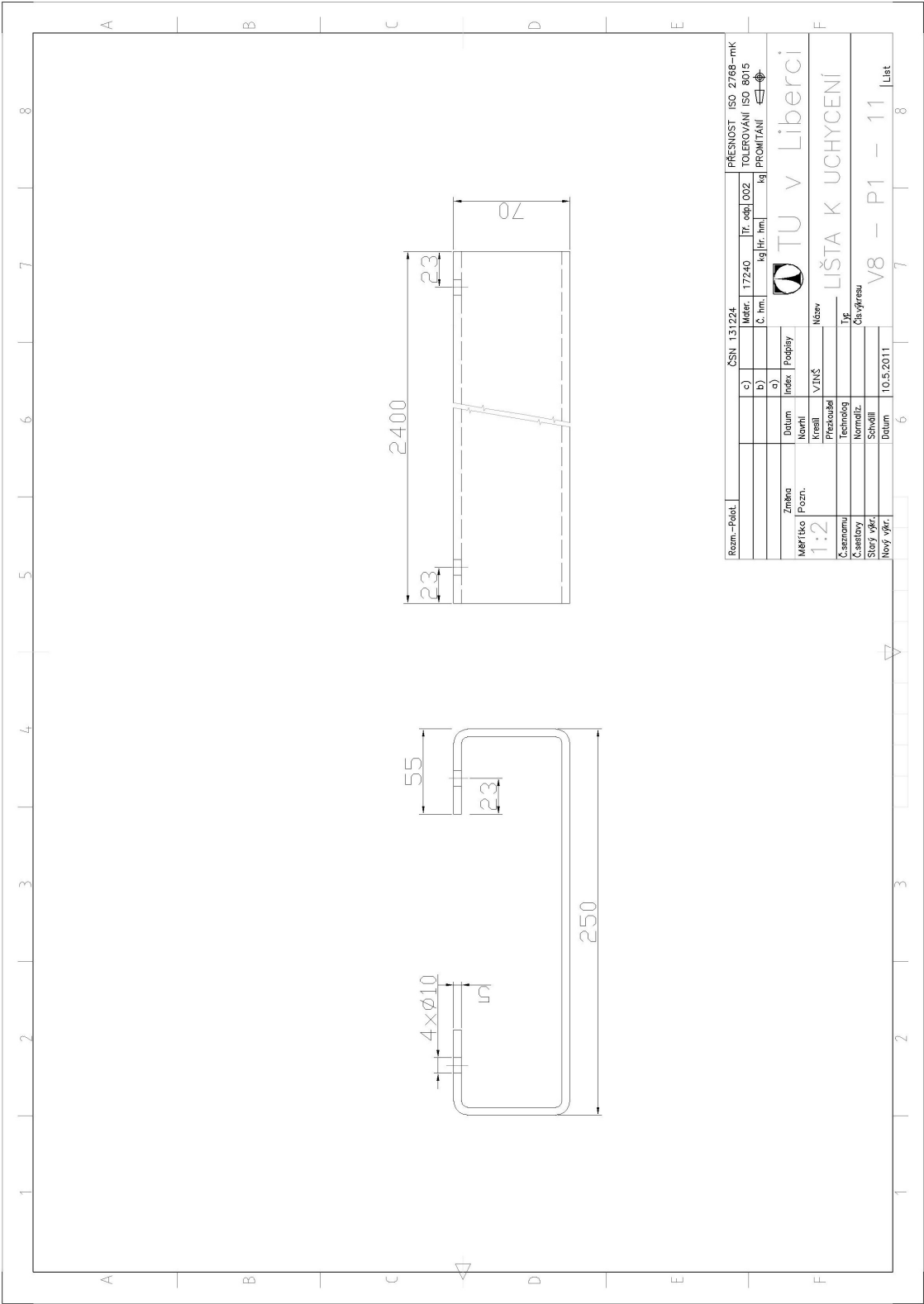
Příloha K Technický výkres: Sběrná nádrž



Příloha L Technický výkres: Zásobovací nádrž



Příloha M Technický výkres: Lišta k uchycení



Příloha N Technický výkres: Stabilizační člen

